

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



**DISTRIBUCIÓN DE LA IGUANA DE COLA ESPINOSA
YUCATECA (*Cachryx defensor*, COPE 1866) EN
GUATEMALA Y SUS CAMBIOS BAJO ESCENARIOS DE
CAMBIO CLIMÁTICO**

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Christian Tomás Chinchilla Putzeys
para optar por el grado académico de **Licenciado en Biología**

Guatemala,
2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades




**DISTRIBUCIÓN DE LA IGUANA DE COLA ESPINOSA
YUCATECA (*Cachryx defensor*, COPE 1866) EN
GUATEMALA Y SUS CAMBIOS BAJO ESCENARIOS DE
CAMBIO CLIMÁTICO**

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Christian Tomás Chinchilla Putzeys
para optar por el grado académico de **Licenciado en Biología**


Guatemala,
2022

Vo. Bo.

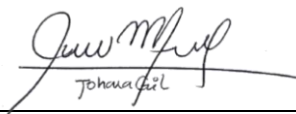
(f) 

Ph.D. Daniel Ariano Sánchez

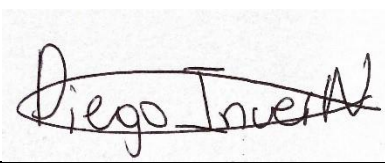
Tribunal examinador:

(f) 

Ph.D. Daniel Ariano Sánchez

(f) 

Lic. Johana Gil Escobedo

(f) 

Ing. Diego Incer Nuñez

Fecha de aprobación del examen de graduación: 03 de noviembre de 2022

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a toda mi familia y a mis amigos por su apoyo y amor incondicional para que pudiera cumplir mis sueños. Especialmente a mis padres, hermanos, tíos, primos y abuelos.

Me gustaría agradecer a la International Iguana Foundation por el financiamiento e interés por investigar más sobre la herpetofauna guatemalteca. Agradezco especialmente a M.Sc. Daniel Ariano por la oportunidad de participar en este proyecto, por su apoyo en el mismo y por transmitirme su interés y conocimiento sobre la herpetología. De igual manera agradezco a la Licda. Johana Gil por coordinar y organizar toda la investigación y por velar por nuestra seguridad durante esta. También agradezco al M. Sc. Diego Incer por su ayuda y paciencia durante la modelación y proyección de los modelos utilizados.

Además, me gustaría agradecer a la Reserva Natural Heloderma y a Gilberto Salazar por su apoyo durante los muestreos, buscando y extrayendo a las iguanas de los árboles. También quiero agradecer a mi compañera Frida Yanes por su apoyo en cada fase del proyecto. A M.Sc. Rony García, Walter Lorenzana, Seyner, Elder, Jaime, Collin, Ellen y Rowshan por acompañarnos y ayudarnos durante el viaje de campo al Parque Nacional Mirador-Río Azul. También agradezco a Santiago Juárez y a Mynor Zapata por su ayuda y colaboración durante el viaje de campo a la Cooperativa Carmelita.

Asimismo, agradezco al Departamento de Biología por proporcionarnos todo el equipo necesario para la realización de esta investigación. Principalmente a Gabriela Alfaro, Priscilla Juárez y Ericka Santos por su apoyo durante toda la carrera.

Contenido

Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de cuadros.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x

I.	Introducción.....	1
II.	Antecedentes.....	2
III.	Marco teórico.....	4
IV.	Justificación.....	9
V.	Objetivos.....	10
VI.	Hipótesis.....	11
VII.	Metodología.....	12
VIII.	Resultados.....	17
IX.	Discusión.....	29
X.	Conclusiones.....	32
XI.	Recomendaciones.....	33
XII.	Referencias bibliográficas.....	34
XIII.	Anexos.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Distribución de la iguana yucateca de cola espinosa (<i>Cachryx defensor</i>).	5
Figura 2. Localidades utilizadas por Köhler, 1995 para la descripción de la morfología e historia natural de <i>Cachryx defensor</i>	7
Figura 3. Localidad del holotipo de <i>Cachryx alfredschmidti</i> .	7
Figura 4. Árbol filogenético de algunas especies de la familia Iguanidae	8
Figura 5. Localización de distintas unidades de manejo dentro de la Reserva de Biósfera Maya y cambio de uso de suelo dentro de ellas en período 1990-2010.	12
Figura 6. Localización del Parque Nacional Mirador-Río Azul y el Biotopo Protegido Naachtun – Dos Lagunas dentro de la región zoogeográfica Península de Yucatán (izquierda) y los Bosques Húmedos de Tehuantepec (derecha).	13
Figura 7. Reportes recopilados de <i>Cachryx defensor</i> para el presente estudio con base en a reportes de localidades provenientes de Leyva (2015), Malone <i>et al.</i> (2017) y Monter <i>et al.</i> (2022).	17
Figura 8. Nuevos registros de <i>Cachryx defensor</i> obtenidos durante el estudio en Guatemala.	18
Figura 9. Mapa de probabilidad de ocurrencia de <i>Cachryx defensor</i> para el tiempo presente.	20
Figura 10. Mapa de probabilidad de ocurrencia mayor a 75% de <i>Cachryx defensor</i> para el tiempo presente.	21
Figura 11. Mapa de probabilidad de ocurrencia de <i>Cachryx defensor</i> para escenario de cambio climático optimista (SSP2-4.5).	23
Figura 12. Mapa de probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75 de <i>Cachryx defensor</i> para el escenario de cambio climático optimista (SSP2-4.5).	24
Figura 13. Mapa de probabilidad de ocurrencia de <i>Cachryx defensor</i> para el escenario de cambio climático pesimista (SSP5-8.5).	26
Figura 14. Mapa de probabilidad de ocurrencia mayor al 0.75 de <i>Cachryx defensor</i> para el escenario de cambio climático pesimista (SSP5-8.5).	27

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
Cuadro 1.	Localidades con presencia de <i>C. defensor</i> utilizadas para la modelación del nicho ecológico.	18
Cuadro 2.	Variables ambientales seleccionadas para <i>Cachryx defensor</i> en tiempo presente y sus porcentajes de contribución e importancia de permutación	19
Cuadro 3.	Variables ambientales seleccionadas para <i>Cachryx defensor</i> en escenario de cambio climático optimista (SSP2-4.5) y sus porcentajes de contribución e importancia de permutación	22
Cuadro 4.	Variables ambientales seleccionadas para <i>Cachryx defensor</i> en escenario de cambio climático pesimista (SSP5-8.5) y sus porcentajes de contribución e importancia de permutación	25
Cuadro 5.	Cambios en cantidad de extensión de probabilidad de ocurrencia mayor al 0.75 de <i>Cachryx defensor</i> bajo los escenarios evaluados en su distribución total y su distribución únicamente en Guatemala.	28

RESUMEN

El estudio de la distribución de las especies y la identificación de los factores bióticos y abióticos que la limitan es muy importante para comprender de mejor forma la evolución, historia natural y hábitats propicios para la presencia de la especie tanto en el presente como en el pasado y en el futuro. Actualmente, amenazas antropogénicas como la pérdida de hábitat, tráfico ilegal de especies, el cambio climático, entre otras, son las principales causas de la disminución de la biodiversidad. En el presente estudio se determinó el efecto del cambio climático en la distribución potencial de la iguana de cola espinosa yucateca (*Cachryx defensor*). Esta es una iguana relativamente pequeña, endémico de la península de Yucatán y que se caracteriza por su cola sumamente espinosa. Lamentablemente, la cantidad de estudios que se han realizado sobre esta especie son escasos, siendo este la primera investigación para Guatemala y la primera en modelar su distribución potencial. En este estudio, se documentan cinco nuevos registros de la especie para el país dentro del Parque Nacional Mirador-Río Azul y la Concesión Forestal Carmelita, en la Reserva de Biósfera Maya, Petén. Se elaboraron modelos de distribución potencial para los años 2,061-2,080 bajo un escenario optimista (SSP2-4.5) y uno pesimista (SSP5-8.5), para los cuales se utilizaron los registros producidos, registros de México y Belice y variables climáticas actuales y futuras. Los modelos producidos en Maxent sugieren que el hábitat potencial de *C. defensor* está comprendido por alrededor de 2,890,041 hectáreas, principalmente dentro de la RBM en Guatemala y de la Reserva de Biósfera Calakmul en México. Respecto a las proyecciones futuras, en el escenario optimista se puede observar que para los años 2,061-2,080, las áreas con las características ambientales propicias para albergar a la especie sufren una disminución de 21,305 hectáreas, mientras que en el escenario pesimistas estas tienen una disminución de 69,313 hectáreas. Se considera que la mayor amenaza que enfrentan las poblaciones de *C. defensor* en Guatemala bajo las condiciones actuales son los efectos del cambio climático. Es necesario que se realicen más estudios sobre la ecología y comportamiento de *C. defensor* para comprender de mejor manera sus requerimientos ambientales y poder implementar estrategias para su conservación.

Palabras clave: especie endémica, Maxent, Reserva de Biósfera Maya

ABSTRACT

The study of the distribution of species and the identification of the biotic and abiotic factors that limit it, is very important to better understand the evolution, natural history and ideal habitat for the presence of the species both in the present and in the future. Currently, anthropogenic threats like habitat loss, illegal wildlife trade, and climate change, among others, are the leading causes for the decrease in biodiversity. In this study, I determined the effect of climate change on the potential distribution of the Yucatán spiny-tailed iguana (*Cachryx defensor*). It is a relatively small iguana, endemic to the Yucatan peninsula and it is characterized by its extremely spiny tail. Sadly, there are very few studies on this species, with this study being the first done in Guatemala and the first to model its potential distribution. This study documented five new records of the species for the country in Mirador-Río Azul National Park and in Carmelita forestry concession in the Mayan Biosphere Reserve, Petén. The potential distribution models used the produced records, previous records from Mexico and Belize and current and future climatic variables. These models were made for the years 2061-2080 under an optimistic scenario (SSP2-4.5) and a pessimist scenario (SSP5-8.5). The produced models suggest that the potential habitat for *C. defensor* is comprised of approximately 2,890,041 hectares, mostly inside the MBR in Guatemala and the Calakmul Biosphere Reserve in Mexico. Regarding the climate change scenario models, we can notice that the areas with ideal environmental conditions to harbor the species suffer a decrease in 21,305 hectares, while the pessimist scenario suffers a decrease in 69,313 hectares. It is considered that under the current circumstances, the major threat that the populations of *C. defensor* face in Guatemala are the effects of climate change. It is necessary that more studies about the ecology and behavior of *C. defensor* are made to better comprehend its environmental requirements and to be able to implement strategies for its conservation.

Key words: endemic species, Maxent, Mayan Biosphere Reserve

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de la distribución de las especies y la identificación de los factores causales que limitan esta distribución resultan ser una herramienta útil para la conservación de estas. Factores antropogénicos como la pérdida de hábitat, introducción de especies invasoras, contaminación, cacería y tráfico ilegal de especies son algunos de las principales amenazas y razones por las cuales la extensión y calidad del hábitat propicio para las especies se ve reducido. Sin embargo, la principal amenaza para algunas especies es el cambio climático y estas se verán gravemente afectadas hasta dentro de algunas décadas, especialmente algunos grupos más vulnerables como las lagartijas dentro de otros grupos de ectotermos (Jørgensen *et al.* 2022). Sin embargo, las investigaciones relacionadas a estos temas son limitadas, especialmente en Guatemala y con la familia Iguanidae. En el presente estudio se amplió el rango conocido dentro de Guatemala y se determinó el efecto del cambio climático en la distribución potencial de la iguana de cola espinosa yucateca, *Cachryx defensor*. Este es un reptil relativamente pequeño, endémico de la península de Yucatán y que se caracteriza por su cola sumamente espinosa. Esta iguana está catalogada como "Vulnerable" a la extinción según la lista roja de la UICN. Este estudio permitirá conocer con mayor precisión la distribución actual de la especie al igual que los cambios en la misma según dos escenarios de cambio climático para los años 2,061-2,080. De esta manera se contribuye a la creación de información sobre la especie para que esta pueda ser utilizada en futuros esfuerzos de conservación dentro de la Reserva de Biósfera Maya en Guatemala y dentro de todo su rango de distribución.

II. ANTECEDENTES

Los modelos de distribución potencial y nicho ecológico de especies son importantes para comprender las tendencias que tienen dichas especies acerca de los ecosistemas que habitan. Actualmente no existe información acerca de la distribución potencial de *Cachryx defensor* dentro de Guatemala; sin embargo, algunos estudios realizados hasta la fecha con especies relacionadas a *C. defensor* pueden proveer información base acerca de qué esperar al realizarla modelación (Morales *et al.* 2016; Valdivia *et al.* 2017; González, 2018). Existen también estudios realizados para especies que habitan en bosques estacionalmente secos, al igual que *C. defensor*, en donde ha existido una dependencia a la precipitación para las especies (Gómez-Cruz *et al.* 2021); y estudios de la especie en donde se buscó comprender el tipo demicrohábitat preferido por la misma (Leyva, 2015).

Se han realizado estudios sobre el efecto del cambio climático sobre la distribución potencial en especies cercanas a *C. defensor* como es el caso de la iguana cubana (*Cyclura nibula nibula*) encontró que las áreas climáticas idóneas decrecerán entre 16 % - 79 % y que bajo el escenario pesimista menos del 10% de las zonas idóneas estarán en áreas protegidas de Cuba, restringiendo a la especie a las zonas más montañosas del país (González, 2018).

Por otro lado, también podemos correlacionar estos modelos con otras variables ecológicas y genéticas. En un estudio realizado en Baja California Sur, México con tres grupos genéticos de la iguana del desierto (*Dipsosaurus dorsalis*), se utilizaron múltiples variables climáticas para establecer la distribución potencial de los tres grupos genéticos en la actualidad. Se encontró que las tres variables bioclimáticas más importantes para este modelo fueron la precipitación anual, la precipitación del mes más seco y la estacionalidad de la temperatura. Adicionalmente, se observó que la heterogeneidad ambiental de las tres regiones evaluadas (Norte, Centro y Sur) tuvo una marcada influencia sobre los patrones de flujo y estructuración genética de la especie, la cual también se vio evidenciada por medio de los análisis de diferenciación genética (Valdivia *et al.* 2017)

Se han realizado estudios de modelación de nicho ecológico anteriormente en reptiles presentes en México y Guatemala como es el caso de *Heloderma alvarezi*. Una modelación de la distribución potencial actual y bajo escenarios de cambio climático con forzamientos radiativos de 4.5 W/m² (escenario optimista) y de 7 W/m² (escenario pesimista) encontró que “las variables ambientales que aportan una cantidad considerable de información son la temperatura media del trimestre más cálido, la estacionalidad de precipitación, la precipitación del trimestre más seco y el rango medio diurno”. También se pudo observar que, bajo el escenario optimista, las áreas que poseen las características ambientales propicias para albergar a la especie ascienden mientras que en el escenario pesimista esta desciende drásticamente. De esta forma se concluyó que en el escenario pesimista el tiempo de dispersión hacia sitios con ambientes térmicos favorables puede ser muy acelerado y resultaren un colapso demográfico seguido por la extinción de la especie (Gómez-Cruz *et al.* 2021).

Se han realizado pocos estudios sobre la ecología, distribución e historia natural de las iguanas del género *Cachryx*. En uno de estos, se recorrió un transecto de 74 kilómetros de largo por 24 metros de ancho por seis meses tomando datos morfológicos y ecológicos de 33 individuos de *Cachryx alfredschmidti*, por lo que el muestreo consistió en un esfuerzo total de 1,344 horas-persona. Se encontró un alto grado de colas rotas en los individuos (aproximadamente 80%), una tasa de un macho por cada 2.2 hembras y una densidad estimada de 5.1 individuos/hectárea. Esta última puede verse afectada por la naturaleza reservada de la especie lo que lleva a una tasa de detección baja (Morales *et al.* 2016).

En el caso de *C. defensor*, se han estudiado 19 variables relacionadas con la estructura y composición del hábitat, condiciones micro ambientales, tiempos de observación y datos morfométricos. Se encontró que *C. defensor* selecciona refugios principalmente en árboles en los ecosistemas mejor conservados mientras que selecciona refugios en rocas en zonas más perturbadas. También se encontró que la especie es capaz de habitar en zonas degradadas mientras existan refugios disponibles (Leyva, 2015).

III. MARCO TEÓRICO

A. IGUANIDAE

La familia Iguanidae está compuesta por ocho géneros y 44 especies de lagartijas principalmente herbívoras distribuidas en Mesoamérica, El Caribe y ciertas islas del Océano Pacífico (Iguana Specialist Group, 2016). Este grupo está distinguido por tener dientes pleurodontos y puede variar grandemente en sus tamaños, yendo desde menos de 14 cm de SVL en *Dipsosaurus* y *Cachryx* hasta mayores a dos metros en *Iguana rhinolopha*. Adicionalmente, sus hábitos pueden cambiar y pueden habitar ecosistemas perturbados, ser terrestres, arbóreas e incluso marinas. Algunos géneros como *Ctenosaura* y *Cachryx* poseen espinas en su cola que pueden servir como mecanismo de defensa, y que se han convertido en un rasgo característico para los mismos. La mayoría de los iguánidos son herbívoros y se pueden alimentar de hojas, flores y frutos de la vegetación que los rodea (Köhler, 2008).

Las iguanas han sido víctimas de la extracción ilegal para mascotas, ya que muchas de ellas son llamativas para los coleccionistas de reptiles. Además, son amenazadas por la caza en muchos países, en donde se acostumbra a alimentarse de la carne de las iguanas (Leyva, 2015). Guatemala cuenta con seis especies de iguánidos dentro de tres géneros: *Cachryx*, *Ctenosaura* e *Iguana*. La iguana verde, *Iguana rhinolopha* es la especie de mayor área de distribución dentro del país seguida por la iguana de cola espinosa, *Ctenosaura similis*. Sin embargo, también se cuenta con especies endémicas como *Ctenosaura palearis* o con una distribución reducida dentro del país (*Ctenosaura acanthura*, *Ctenosaura flavidorsalis* y *Cachryx defensor*) (Iguana Specialist Group, 2016).

B. ECOLOGÍA, AMENAZAS Y COMPORTAMIENTO DEL GÉNERO *CACHRYX*

1. Descripción de *Cachryx defensor*

La iguana de cola espinosa yucateca (*C. defensor*) es un reptil relativamente pequeño endémico de los bosques secos tropicales de la península de Yucatán (Fig. 1). Fue descrita en 1866 por Edward Cope siendo su localidad tipo las ruinas de Chichén Itzá. Se estima que esta especie tiene un área de ocupación menor a 2,000 km² y una extensión de ocurrencia menor a 20,000 km². Se desconoce el tamaño total de su población, pero se estimó que ronda en los miles de individuos. La iguana de cola espinosa de Campeche (*C. alfredschmidti*), fue separada de *C. defensor*, siendo esta su única especie hermana (Köhler, 1995). Debido a su gran similitud morfológica con su taxón hermano (*C. alfredschmidti*), es importante conocer las características diagnósticas para diferenciarlos.

Las principales características diagnósticas de *C. defensor* son: SVL de hasta 145 mm; poseen 22-24 anillos en la cola; una proporción largo de la cola/SVL de 0.65-0.74; filas reducidas e irregulares de escamas mediales dorsales; ojo parietal no distinguible y usualmente colas con filas incompletas de escamas espinosas agrandadas en los primeros 8 anillos (Köhler 1995; 1996). Sin embargo, otras investigaciones que realizaron comparaciones morfológicas del género indican que no existen características morfológicas diagnósticas para distinguir ambas especies (Malone *et al.* 2017).

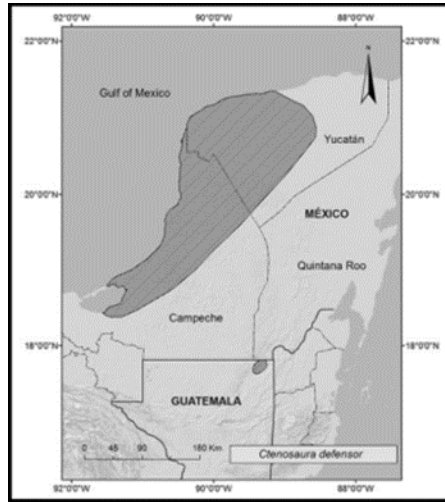


Figura 1. Distribución de la iguana yucateca de cola espinosa (*Cachryx defensor*) (Iguana Specialist Group, 2016).

Existen muy pocos estudios del género *Cachryx*, existiendo un único estudio de ecología del género enfocada en la especie *C. alfredschmidti* (Morales *et al.* 2016). En este se encontró una proporción de sexos de un macho: 2.2 hembras, y la mayoría de los individuos fueron capturados en bosque caducifolio de tierras bajas entre 140 y 282 msnm en árboles de *Haematoxylum* sp., en alturas entre 0.5 y seis metros. También se estimó una densidad de 5.1 individuos/hectárea en un área de 1.68 kilómetros cuadrados.

2. Amenazas potenciales

Entre las principales amenazas hacia la especie se encuentra la pérdida y fragmentación del hábitat que también resulta en la pérdida de refugios y espacios de anidación. (Köhler, 2004; Morales *et al.* 2016). También se cuenta registros de uso de la especie como fuente de proteína o de medicina tradicional en poblaciones mayas en México (Leyva, 2015). Adicionalmente, esta especie es especialmente codiciada en el mercado ilegal de mascotas exóticas debido a su coloración y aspecto único, por lo que llama la atención de los coleccionistas de reptiles y es extraída de su hábitat para su comercialización.

Dentro de Guatemala no se tienen registros de caza de subsistencia hacia *C. defensor* ni de extracción ilegal de individuos para su venta (Obs. Pers.). Sin embargo, esta es una especie bastante elusiva y únicamente se había reportado un individuo dentro del país hasta el año 2,021. Adicionalmente, su área de distribución conocida se encuentra restringida al noreste de Petén, la cuál es una de las secciones mejor conservadas dentro de la RBM. Se desconoce si su rango de distribución puede extenderse a otras unidades de manejo dentro de la RBM que presentan altos grados de fragmentación y deforestación tales como el Parque Nacional Laguna del Tigre y la Zona de Amortiguamiento.

3. Reproducción

Por medio de las personas locales se ha obtenido información acerca de la cantidad de huevos que las hembras pueden poner y la temporada reproductiva de la especie. Se cree que a diferencia de otras especies de la familia Iguanidae, *C. defensor* puede tener de dos a tres huevos en los meses de abril (Köhler, 1996); el tiempo de incubación es desconocido. El proceso de cortejo no ha sido documentado, probablemente debido a los hábitos tímidos de la especie y a su poca investigación.

4. Alimentación y refugio

Cachryx defensor habita terrenos rocosos y bosques secos que tiene cactus y piedra caliza, característica de la península de Yucatán y el departamento de Petén. Se sabe que durante las épocas secas pueden llegar a darse temperaturas sobre los 30°C, las cuales los organismos parecen soportar. Utilizan como escondite agujeros en las rocas y ramas huecas del ancho de su cuerpo cuando se inflan. Esto sirve como defensa para los individuos, ya que la extracción de sus lugares de escondite es bastante complicada, y dado que su cola es la que tapa el agujero, utilizan como una defensa extra la autotomía caudal (Köhler, 1996).

Sobre su alimentación únicamente se ha realizado un estudio físico de 19 muestras fecales de *C. defensor*, en las que todas consistían únicamente de restos de follaje. Se ha documentado que esta especie no se aleja mucho de su refugio, por lo que depende directamente de la vegetación circundante a los troncos y cuevas que habita (Köhler, 1996).

C. SISTEMÁTICA DEL GÉNERO *CACHRYX*

El primer estudio de campo acerca de la morfología y la historia natural de la iguanayucateca de cola espinosa (*C. defensor*) utilizó 19 individuos encontrados en la península de Yucatán para la obtención de medidas morfológicas (Köhler, 1995) (Fig. 2).

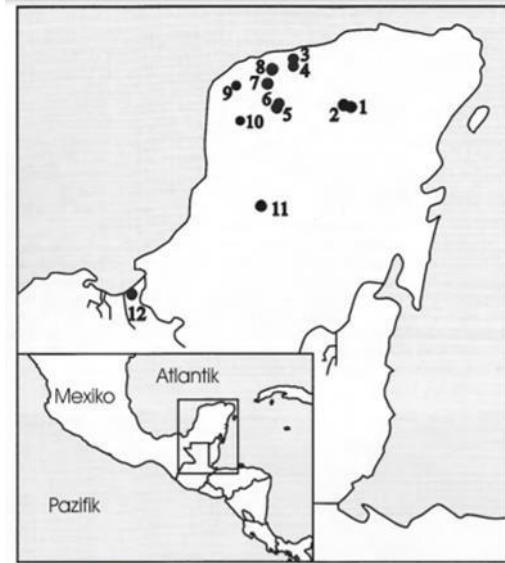


Figura 2. Localidades utilizadas por Köhler, 1995 para la descripción de la morfología e historia natural de *Cachryx defensor*.

Se encontró que algunos individuos no encajaban con las características presentes en los ejemplares de *C. defensor*. Debido a ello, se realizaron mediciones morfológicas de nueve individuos con características distintas a aquellas presentes en *C. defensor*, y se describió la nueva especie como *C. alfredschmidti* (Köhler, 1996) (Fig. 3).



Figura 3. Localidad del holotipo de *Cachryx alfredschmidti* (Köhler, 1996).

Los puntos negros del uno al doce corresponden a las localidades utilizadas para la investigación enfocada a *C. defensor*. Punto gris número 13 corresponde a la localidad tipo de *C. alfredschmidti* (Köhler, 1995).

Posteriormente, análisis moleculares utilizando seis marcadores (dos mitocondriales y cuatro nucleares), se utilizaron para establecer la sistemática de múltiples especies de iguanas alrededor del continente. Al obtener los datos de los árboles Bayesianos y de máxima verosimilitud, se pudo observar que el clado comprendido por *C. defensor* y *C. alfredschmidti* tiene una mayor relación con los géneros de iguanas de las islas Galápagos *Amblyrhynchus* y *Conolophus*, que con el resto de las iguanas (Malone *et al.* 2017) (Figura 3).

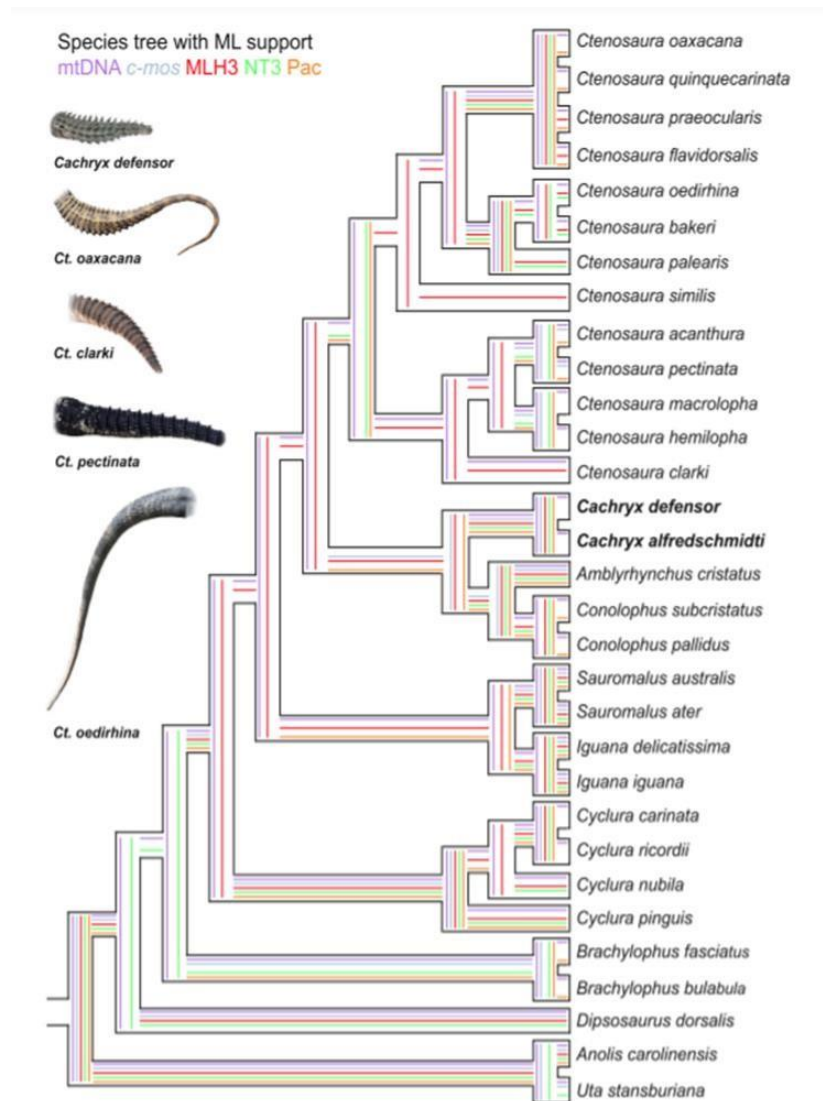


Figura 4. Árbol filogenético de algunas especies de la familia Iguanidae generado por Malone *et al.* (2017).

IV. JUSTIFICACIÓN

La iguana yucateca de cola espinosa (*C. defensor*) es una especie endémica a la península de Yucatán que se encuentra en estado “Vulnerable” a la extinción según la lista roja de la UICN (Köhler, 2004). Anteriormente se tenía un único registro en el país en el Parque Nacional Mirador-Río Azul (Radachowsky *et al.* 1995). Debido a este vacío de información, es importante realizar muestreos dentro del área de ocurrencia conocida para la especie y explorar hábitats similares cercanos dentro de la Reserva de La Biósfera Maya. Las principales amenazas que se han identificado para *C. defensor* en México son la fragmentación y deterioración de su ecosistema y su extracción por el tráfico ilegal de especies junto a la cacería de subsistencia (Köhler, 2004). En el caso de las poblaciones guatemaltecas no se ha documentado la extracción o cacería de la especie y la degradación y fragmentación del hábitat es mínima para las áreas reportadas. Esto hace que el cambio climático pueda ser considerado como la amenaza principal para la especie en el país.

Se cuenta con muy poca información sobre la ecología y distribución de esta especie por lo que este estudio fue el primero realizado con las poblaciones guatemaltecas de esta especie. Asimismo, es el primer estudio realizado para el género que busca entender los factores climáticos y biológicos que influyen en la presencia de la especie para poder conocer su verdadero rango de distribución dentro de Guatemala. Se utilizaron los modelos de nicho ecológico para determinar su rango potencial de distribución y se intentará verificar su presencia en los sitios con mayor probabilidad de presencia. La información generada durante este estudio servirá en la planificación y ejecución de acciones de conservación para la especie dentro de la Reserva de la Biósfera Maya.

V. OBJETIVOS

A. General

Modelar la distribución potencial actual para *Cachryx defensor* en Guatemala y sus posibles cambios bajo dos escenarios de cambio climático.

B. Específicos

1. Compilar la información de localidades de *Cachryx defensor*.
2. Evaluar la presencia de *C. defensor* en la Reserva de Biósfera Maya, Petén, Guatemala.
3. Generar un mapa de distribución potencial para *C. defensor*
4. Generar mapas de distribución potencial para *Cachryx defensor* en Guatemala bajo dos escenarios de cambio climático

VI. HIPÓTESIS

“La distribución conocida de *Cachryx defensor* para Guatemala es más amplia que la única localidad conocida para el país”

“Las variables climáticas relacionadas con la estacionalidad son las que determinarán en mayor medida la distribución potencial de *Cachryx defensor*”

“La distribución de *Cachryx defensor* se verá afectada debido al cambio climático en los próximos años”

VII. METODOLOGÍA

A. ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva de la Biósfera Maya (RBM) fue creada en 1990 por medio del decreto 5-90 y forma parte del bosque tropical más extenso en América después de la Amazonía. Además, también representa más del 60% de las áreas protegidas declaradas del país, y cerca del 40% de todo el bosque de Guatemala (CONAP, 2015). Dentro de la RBM hay más de 2,000,000 de hectáreas, divididas entre la zona de amortiguamiento, la zona de usos múltiples y la zona núcleo. La Zona Núcleo (ZZNN) representa el 39% de la reserva y está formada por 9 áreas en total: 5 parques nacionales y 4 biotopos protegidos. Estos son reservados para la investigación científica y el turismo de bajo impacto para mantener la integridad del bosque y el impacto humano a la menor cantidad posible (CONAP, 2015).

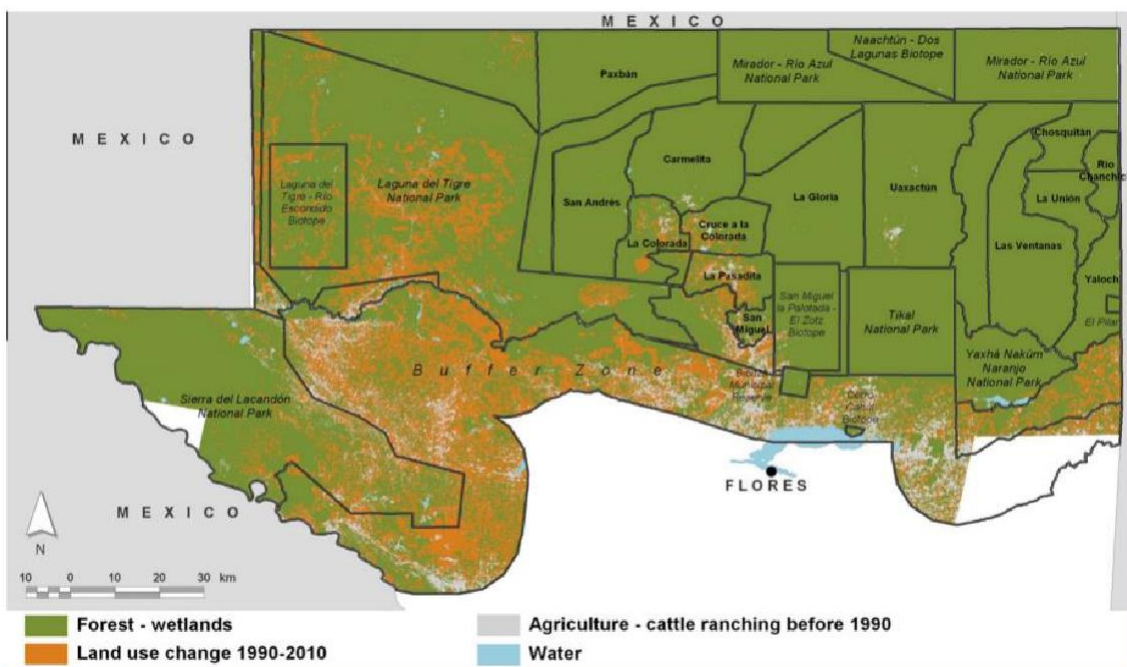


Figura 5. Localización de distintas unidades de manejo dentro de la Reserva de Biósfera Maya y cambio de uso de suelo dentro de ellas en período 1990-2010. (Radachowsky *et al.* 2011).

Una de estas áreas es el Parque Nacional Mirador-Río Azul, que en conjunto con el Biotopo Protegido Naachtun-Dos Lagunas forma parte de la zona transicional entre dos regiones biogeográficas: la península de Yucatán y los Bosque húmedos de Tehuantepec (Dinerstein *et al.* 1995), estos últimos forman parte de la Selva Maya (CONAP, 2009) (Figura 6).

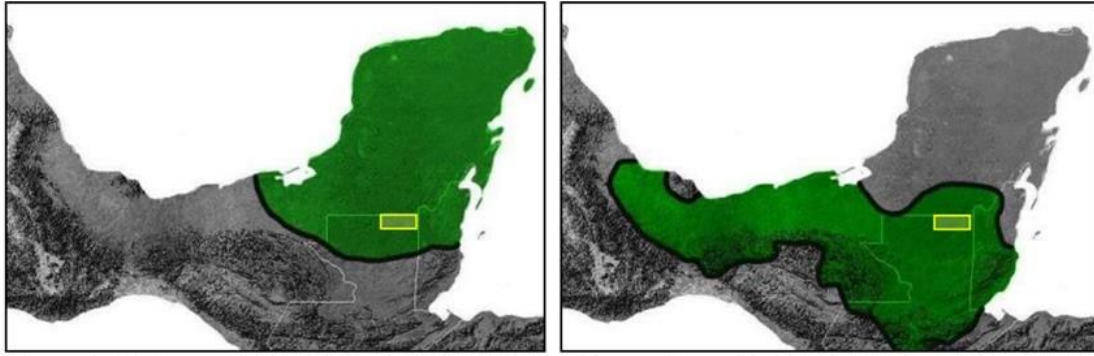


Figura 6. Localización del Parque Nacional Mirador-Río Azul y el Biotopo Protegido Naachtun – Dos Lagunas dentro de la región zoogeográfica Península de Yucatán (izquierda) y los Bosques Húmedos de Tehuantepec (derecha) (CONAP, 2009).

En las proximidades del campamento de Ixcán Río, dentro del Parque Nacional Mirador-Río Azul, se encuentra el área conocida como “El Desierto”. Esta es un hábitat arenoso, con poca vegetación conformada únicamente por arbustos y árboles enanos. Su extensión es pequeña, de aproximadamente 2 kilómetros cuadrados; sin embargo, conforma un hábitat único para Guatemala (García y Radachowsky, 2004).

Por otra parte, la Concesión Forestal Carmelita cuenta con una extensión de 53,797 ha de las cuales 20,000 ha son utilizadas para aprovechamiento forestal sostenible. Esta se encuentra ubicada al suroeste del Parque Nacional Mirador-Río Azul y dentro de la Zona de Usos Múltiples (ZUM) de la RBM. Esta concesión cuenta con una aldea con aproximadamente 350 habitantes, los cuales se dedican principalmente al turismo y al aprovechamiento de productos maderables y no maderables dentro de la selva (CONAP, 2009).

Se han registrado más de 250 especies de aves, de las cuales dieciséis son endémicas para la Selva Maya, 56 especies de reptiles y anfibios, de las cuales 11 son endémicas de la Selva Maya y 2 de Yucatán. También se tiene registro de 16 especies de peces, 87 especies de mariposas y 42 de escarabajos copronecrófagos. La flora de la región está representada por al menos 209 especies (García y Radachowsky, 2004).

B. INSPECCIÓN POR ENCUENTRO VISUAL (VES) Y ENTREVISTAS A LOCALES

Se realizaron inspecciones por encuentro visual, las cuales son el método más utilizado para el muestreo activo de reptiles. Este consiste en una búsqueda oportunista del área de estudio o hábitat seleccionado con énfasis en los microhábitats o condiciones ambientales favorables para la especie objetivo (Dodd, 2016; Urbina *et al.* 2015). Se conoce que esta especie prefiere los hábitats con abundancia de chechén negro (*Metopium brownei*) y tinto (*Haematoxylum campechianum*), debido a que utiliza los pliegues de los árboles de *H. campechianum* como

refugio (Leyva, 2015). Debido a ello se buscaron las áreas de mayor abundancia de tinal dentro de la reserva y la búsqueda se dividió en dos muestreos durante el día, uno comprendido dentro de las 8:00 a 11:00 horas y el otro de 14:00 a 17:00 horas con el fin de aumentar las posibilidades de encuentro de la especie. Estos consistieron en registrar la presencia de la especie al caminar por el hábitat, registrando debajo de rocas y troncos con un gancho herpetológico y buscando señales de movimiento desde un punto alto con vista panorámica del sitio de muestreo (Dodd, 2016).

Para la captura de los individuos se inspeccionaron las cavidades y pliegues dentro de los árboles de tinto (*Haematoxylum* spp.) y de chechén (*Metopium* spp.). Al momento de encontrar un espécimen se procedió a removerlo manualmente de la cavidad dentro del árbol y se utilizó un machete para poder ampliar la entrada y facilitar su extracción sin causarle ningún daño al ejemplar (Radachowsky *et al.* 1995). Adicionalmente de las caminatas de inspección por encuentro visual, también se recurrió al uso de entrevistas para determinar si las personas habían visualizado a un ejemplar de *C. defensor* anteriormente. De esta manera se fue delimitando y seleccionando las áreas en donde se habían avistado para realizar la presente investigación. Estas consistían en mostrar una ficha (Anexo 3) con imágenes de 4 especies de lagartijas presentes en el área y que el entrevistado indicara las especies que habían avistado en el área en el pasado. En caso de que el entrevistado indicara haber visto un ejemplar de *C. defensor*, se procedió a preguntar lo siguiente: ¿En qué sitio avistó la iguana? ¿Cómo era su comportamiento? ¿A qué hora la visualizó? Estas preguntas fueron necesarias para verificar si la descripción física y el comportamiento correspondían a los datos y referencias bibliográficas que se tienen de la especie. De esta forma se pudo verificar la certeza del avistamiento de la persona entrevistada.

C. IDENTIFICACIÓN, TOMA DE MEDIDAS MORFOLÓGICAS Y MARCAJE

Cada individuo capturado fue pesado y se le tomaron las siguientes medidas utilizando un vernier: Largo hocico-cloaca (SVL, por sus siglas en inglés), Largo de la cola (TL, por sus siglas en inglés), Largo de cabeza (HL, por sus siglas en inglés), Ancho de cabeza (HW, por sus siglas en inglés). También se contó el número de anillos en la cola y se analizó la uniformidad de las filas de escamas mediales dorsales, la forma de las escamas parietales, la presencia del ojo parietal y las filas intermedias de los anillos de la cola para verificar su identificación (Köhler, 2008; Radachowsky *et al.*, 1995). Adicionalmente, se pintó un código alfanumérico con pintura de aceite blanca en ambos lados del individuo para facilitar su identificación a distancia (Vinegar, 1975).

D. TOMA DE DATOS AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS *IN SITU*

Para cada iguana localizada se tomó su localidad exacta por medio de un GPS Garmin, y se apuntó la fecha, hora y posición en la que se encontró. También se utilizó un medidor ambiental Kestrel 5200 para medir las siguientes variables: humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, etc. En los casos en los que se encontraron nidos o refugios de esta especie se dejaron data loggers para medir la temperatura y condiciones ambientales durante los días de muestreo efectivo (Pérez, Sabat y McMillan, 2016).

E. TABULACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Se recopilaron todos los puntos georreferenciados que indican la presencia de la especie obtenidos en otras investigaciones (Radachowsky *et al.* 1995; Malone *et al.*, 2017). Estos fueron verificados, depurados y trasladados a un archivo Excel. Para la depuración, se verificó que estos puntos no se encontraran dentro de centros poblados y que los puntos restantes estuvieran a una distancia mayor a un kilómetro de las costas. Esto debido a que los puntos en las líneas costeras y los poblados podrían ser producto de errores de georreferenciación. Adicionalmente, para que los puntos fueran independientes se buscó que todos presentaran una distancia mayor o igual a 1 kilómetro entre ellos. Se agregaron todos los datos tomados durante el muestreo realizado en marzo y mayo de 2022 en el Parque Nacional Mirador-Río Azul y la Concesión Forestal Comunitaria Carmelita.

Las 19 variables bioclimáticas, 7 variables climáticas y la variable de elevación para la actualidad y para los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5 (resolución 30-arc s) fueron obtenidas de la base de datos WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005).

F. CREACIÓN Y EVALUACIÓN DE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Los modelos de nicho ecológico se realizaron utilizando el algoritmo de máxima entropía por medio del software Maxent v. 3.4.4 (Phillips *et al.* 2022). Los modelos de Rutas Socioeconómicas Compartidas (SSP por sus siglas en inglés) de cambio climático SSP2-4.5 (escenario optimista) y SSP5-8.5 (escenario pesimista) fueron utilizados para realizar las modelaciones de nicho ecológico para los años 2,061 – 2,080. Estos modelos fueron creados con simulaciones de 4.5 y 8.5 W/m² de forzamientos radiativo para crear pronósticos de cambio climático optimistas y pesimistas, respectivamente (Gómez-Cruz *et al.*, 2021).

Para la selección de variables en la modelación de MAXENT se habilitaron las opciones de “Curvas de Respuesta” y “Medición de importancia de la variable por medio de jackknife”. Se deshabilitó la opción de agrupamiento para evitar extrapolaciones externas a las variables utilizadas en el modelo. El 10% de los registros fue designado a la validación de Random Test Percentage, y el 90% restante se tomó para la modelación de cada uno de los escenarios. Se generaron un total de 25 réplicas para cada uno de los modelos utilizados y se evaluó cada modelo utilizando el área debajo de la curva como una prueba métrica. Esta puede variar en valor de 0 a

1, significando un valor menor a 0.5 que el clasificador elegido actúa peor que uno aleatorio (Phillips *et al.* 2004). La réplica con un valor estadístico más cercano a 1 en la prueba de entrenamiento fue seleccionada como el modelo más robusto. Los modelos finales fueron exportados a QGIS 3.24.0 para crear mapas de distribución (QGIS, 2022).

Para cada uno de los modelos generados (escenario presente, optimista y pesimista) se realizó una selección del área con una probabilidad de ocurrencia mayor o igual al 75% y/o una importancia de permutación mayor a diez. Se midió la cantidad de hectáreas dentro de esta clasificación para cada modelo tanto en su distribución total como solo dentro del territorio guatemalteco. Además, se restó el área de ocurrencia que coincidía con los cuerpos de agua presentes.

VIII. RESULTADOS

Se obtuvieron 57 registros para la especie *C. defensor*, obtenidos de Leyva (2015), Malone *et al.* (2017) y Monter *et al.* (2022). De estos se utilizaron finalmente diez de ellos luego de la depuración de datos.

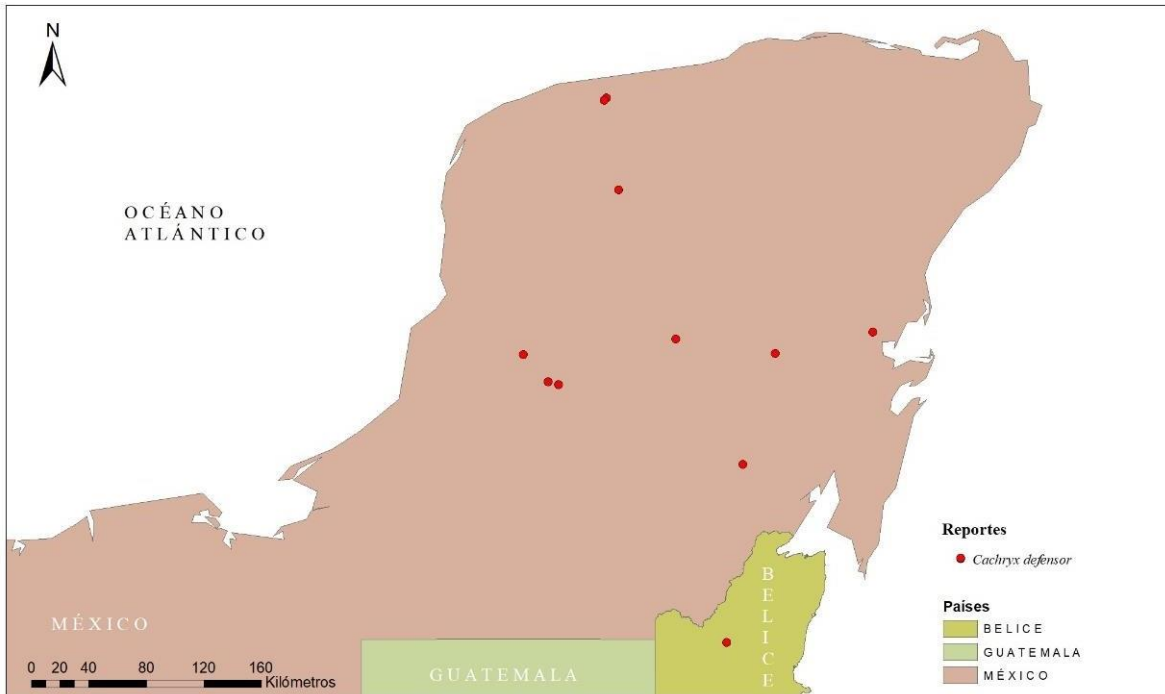


Figura 7. Reportes recopilados de *Cachryx defensor* para el presente estudio con base en reportes de localidades provenientes de Leyva (2015), Malone *et al.* (2017) y Monter *et al.* (2022).

Los puntos utilizados para el presente estudio son mostrados en coloración roja para *C. defensor*.

Se entrevistó a 32 personas, de las cuales únicamente 7 personas afirmaron haber avistado previamente a la especie. Los sitios de muestreo fueron seleccionados según la presencia avistamientos confirmados y no confirmados y estos coincidieron con los sitios donde las personas aseguraron haberlas visto. Se obtuvieron cinco nuevos registros de *C. defensor* para Guatemala (Figura 7), de los cuales cuatro fueron utilizados para la modelación de la distribución potencial para *C. defensor*. Tres registros fueron reportados para el Zona de Usos Múltiple de la Reserva de la Biósfera Maya y dos para el Parque Nacional Mirador-Río Azul.

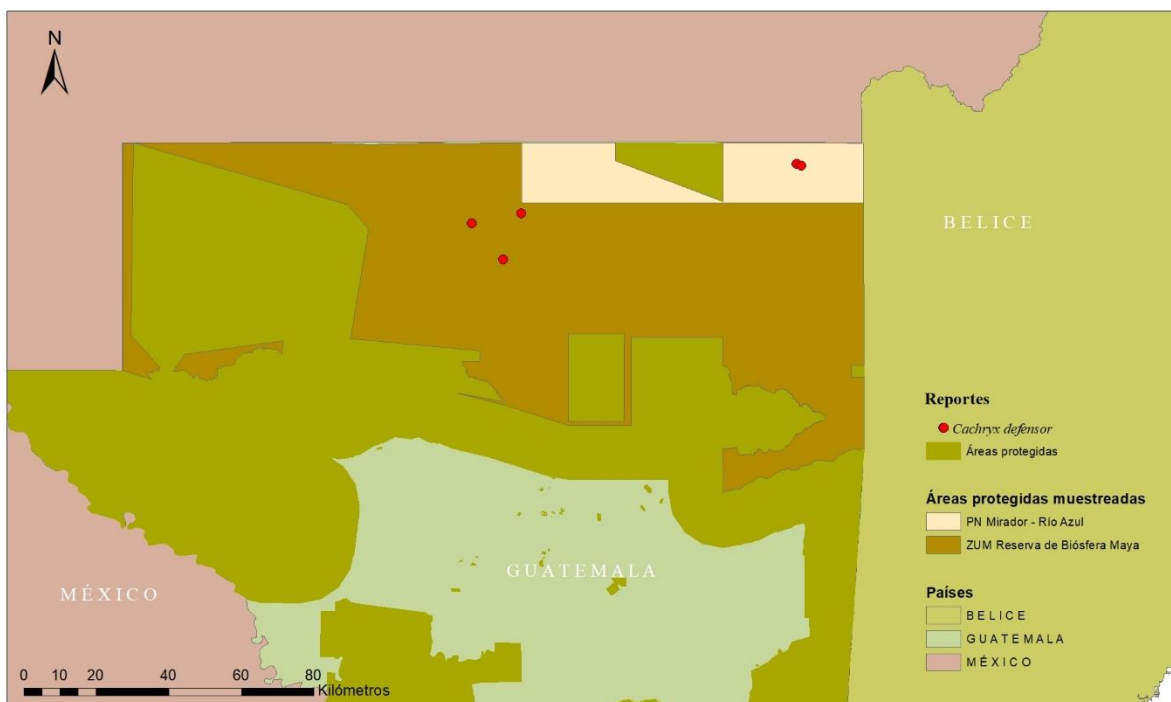


Figura 8. Nuevos registros de *Cachryx defensor* obtenidos durante el estudio en Guatemala. Los puntos utilizados para el presente estudio son mostrados en coloración roja para *C. defensor*. Las áreas protegidas no muestreadas durante el estudio son mostradas en verde oscuro, mientras que las áreas protegidas muestreadas se muestran en beige (Mirador-Río Azul) y café (ZUM Reserva de Biósfera Maya).

Cuadro 1. Localidades con presencia de *C. defensor* utilizadas para la modelación del nicho ecológico.

No.	Localidad	Estado	País	Latitud (N)	Longitud (W)	Fuente
1	Chencoh	Campeche	México	19.42485	-89.8251	Malone et al. 2017
2	Ranas	Quintana Roo	México	19.73433	-87.7963	Malone et al. 2017
3	Dzula	Quintana Roo	México	19.60194	-88.4067	Malone et al. 2017
4	Ixchil	Yucatán	México	21.19777	-89.46000	Malone et al. 2017
5	Ixchil	Yucatán	México	21.18194	-89.47305	Malone et al. 2017
6	Pixyah	Yucatán	México	20.62306	-89.38388	Malone et al. 2017
7	Pixyah	Yucatán	México	19.69297	-89.0288	Malone et al. 2017
8	Pixyah	Yucatán	México	18.90919	-88.6089	Malone et al. 2017
9	Pixyah	Yucatán	México	19.59487	-89.9782	Malone et al. 2017
10	Pixyah	Yucatán	México	19.40833	-89.7583	Malone et al. 2017

No.	Localidad	Estado	País	Latitud (N)	Longitud (W)	Fuente
11	Río Azul	Petén	Guatemala	17.76461	-89.3176	Este estudio
12	Río Azul	Petén	Guatemala	17.76001	-89.3071	Este estudio
13	Puente Viejo	Petén	Guatemala	17.61639	-90.1238	Este estudio
14	Puente Viejo	Petén	Guatemala	17.52761	-90.04597	Este estudio
15	El Jabalí*	Petén	Guatemala	17.64165	-90.0002	Este estudio
16	Lamanai Walk	Orange Walk	Belice	17.79944	-88.7078	Monter <i>et al.</i> 2022

Datum: WGS 1984; (Malone *et al.* 2017 ; Monter *et al.* 2022)

(*) Avistamiento con evidencia fotográfica proporcionada por guarda recursos de la Reserva de Biósfera Maya, coordenadas aproximadas.

Se seleccionaron las variables que presentaron una importancia de permutación mayor a diez y/o porcentaje de contribución total de las variables mayor o igual a 75%. Para las proyecciones del escenario presente utilizando la especie *Cachryx defensor* se seleccionó un total de cuatro variables (Cuadro 4), las cuales sumaban un porcentaje de contribución de 76.2%. La elevación debió ser seleccionada a pesar de tener una importancia de permutación de 0 debido a que cuenta con un porcentaje de contribución alto, haciendo que este llegara al mínimo propuesto.

Cuadro 2. Variables ambientales seleccionadas para *Cachryx defensor* en tiempo presente y sus porcentajes de contribución e importancia de permutación

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Precipitación del cuartil más húmedo	21.8	1.6
Radiación solar del mes de julio	16.7	10.9
Elevación	14.2	0
Estacionalidad de la precipitación	12.7	0
Precipitación del cuartil más frío	10.8	12.5
Radiación solar del mes de junio	2.5	13.8
Precipitación del mes más seco	2.5	15.3
Rango diurno medio	0.4	13.0

Utilizando únicamente las variables seleccionadas en el Cuadro 4, se generó una proyección de probabilidad de ocurrencia para la especie *C. defensor* en el escenario presente. Se obtuvo un valor de Área Bajo la Curva (AUC) de 0.9993, indicando que la proyección generada tiene una capacidad de predicción específica y sensible en un 99.52% de las ocasiones.

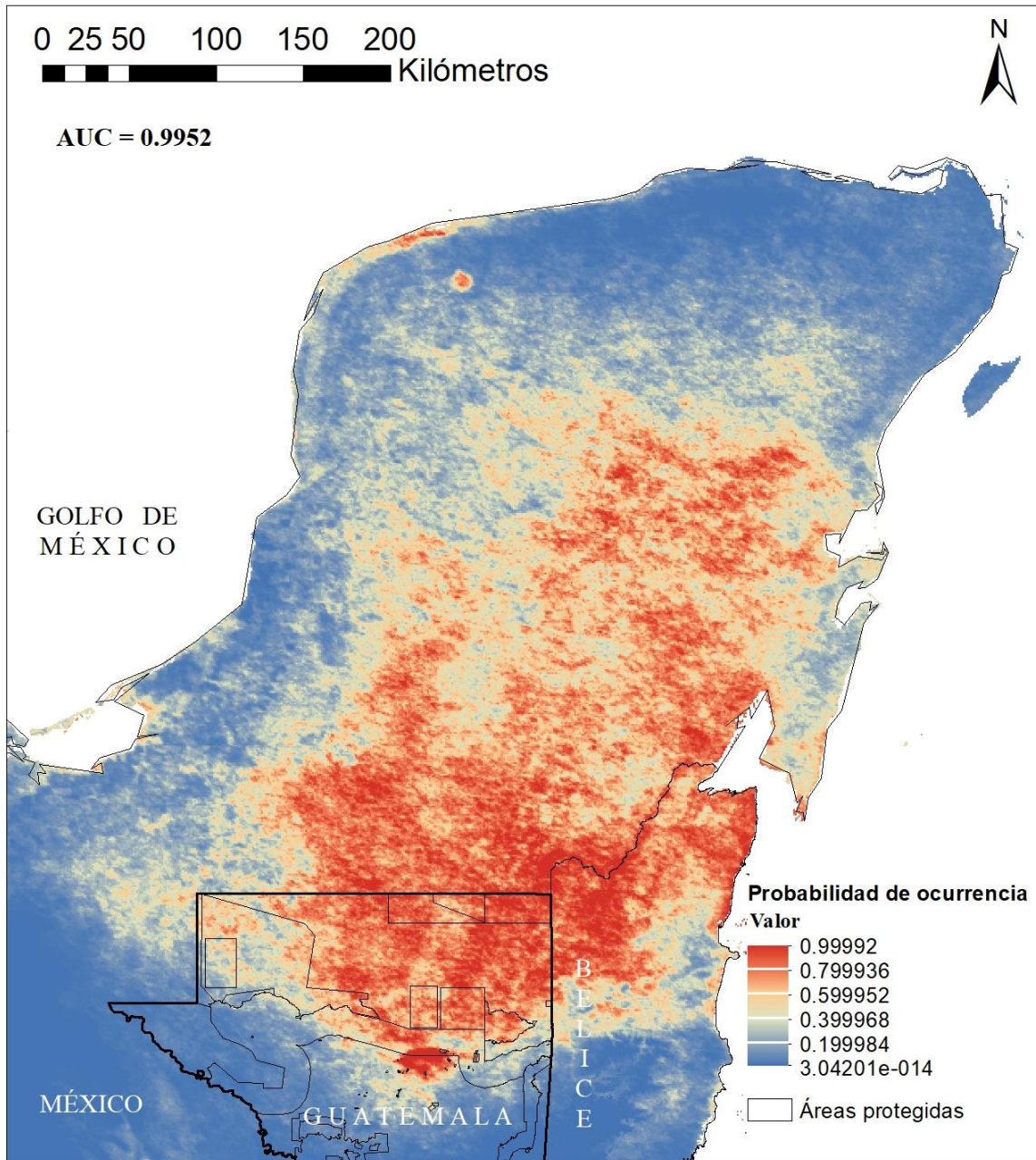


Figura 9. Mapa de probabilidad de ocurrencia de *Cachryx defensor* para el tiempo presente.

Las áreas protegidas para el departamento de Petén son mostradas con un contorno verde claro. La probabilidad de ocurrencia muestra una escala de colores que varían desde rojo a azul, indicando la distribución potencial de la especie. Las coloraciones rojas se encuentran en un valor más cercano a 1, mientras que las coloraciones azules son más cercanas a 0.

Utilizando el mapa de probabilidad de ocurrencia en la Figura 8, se generó un corte del área donde el valor de probabilidad de ocurrencia mayor o igual a 0.75. El polígono representa un área estimada de 2,890,041 hectáreas (ha), en las que existe una alta probabilidad de ocurrencia para *C. defensor* (Figura 9).

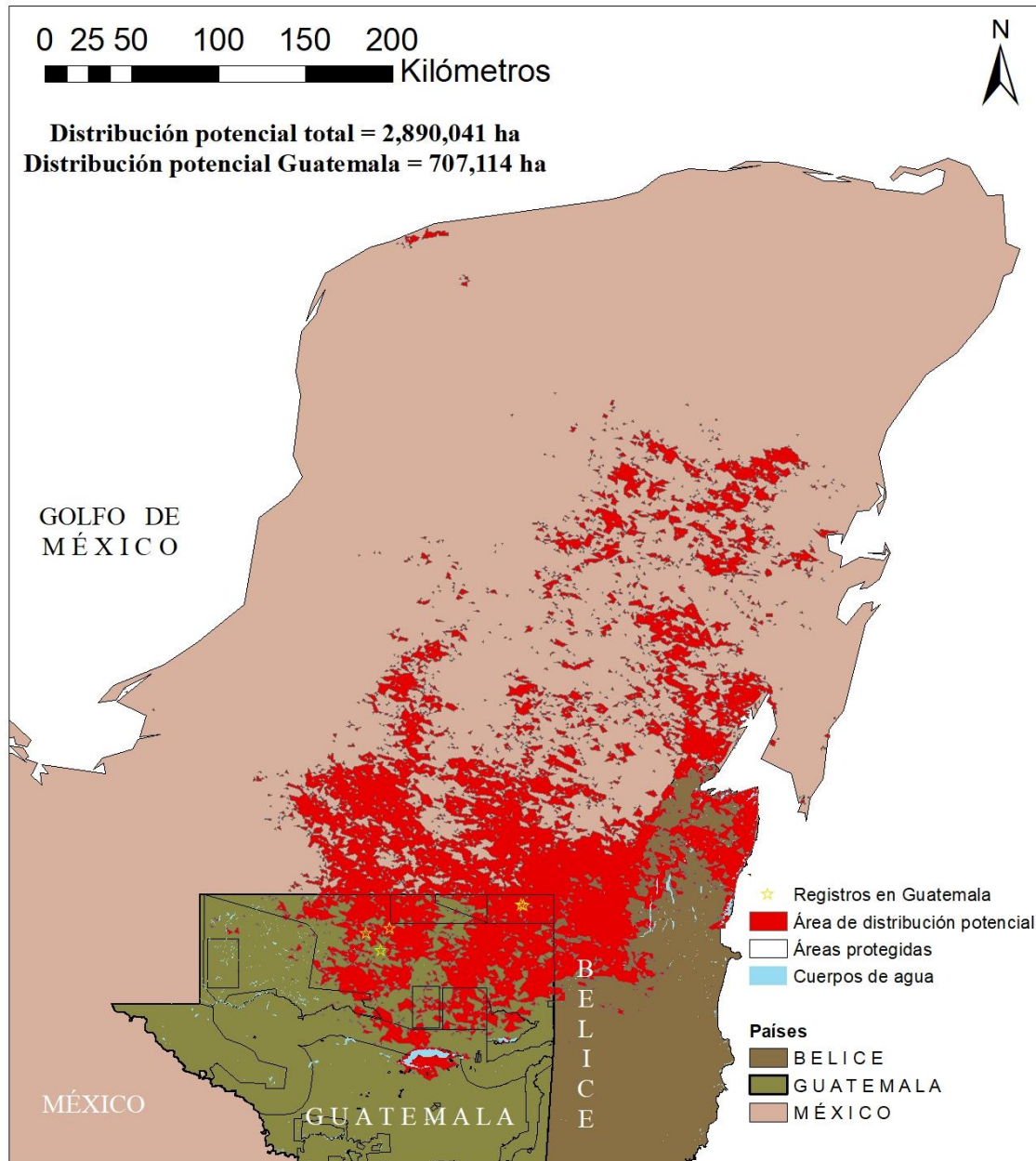


Figura 10. Mapa de probabilidad de ocurrencia mayor a 75% de *Cachryx defensor* para el tiempo presente.

El área de distribución potencial para *C. defensor* es mostrada en coloración roja. Las áreas protegidas de Guatemala se muestran delineadas y los registros *C. defensor* obtenidos durante esta investigación se muestran con una estrella dorada.

Para las proyecciones del escenario optimista (SSP2-4.5) utilizando la especie *C. defensor* se seleccionó un total de nueve variables (Cuadro 5), las cuales sumaban un porcentaje de contribución de 81.6%. Las variables de precipitación del mes de junio, temperatura máxima del mes de julio y rango de temperatura anual debieron ser seleccionadas a pesar de tener una importancia de permutación de 0 debido a que cuentan con un porcentaje de contribución alto, haciendo que este llegara al mínimo propuesto.

Cuadro 3. Variables ambientales seleccionadas para *Cachryx defensor* en escenario de cambio climático optimista (SSP2-4.5) y sus porcentajes de contribución e importancia de permutación.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Temperatura máxima de agosto	20.3	0
Precipitación del cuartil más húmedo	17.1	0
Precipitación de agosto	14.8	18.5
Temperatura mínima de septiembre	8.3	19.3
Temperatura mínima de noviembre	7.2	17.4
Precipitación de febrero	4.2	15.0
Temperatura máxima de diciembre	0.6	11.0
Precipitación de junio	5.6	7.1

Utilizando únicamente las variables seleccionadas en el Cuadro 5, se generó una proyección de probabilidad de ocurrencia para la especie *C. defensor* en el escenario optimista (SSP2- 4.5). Se obtuvo un valor de Área Bajo la Curva (AUC) de 0.9993, indicando que la proyección generada tiene una capacidad de predicción específica y sensible en un 99.93% de las ocasiones.

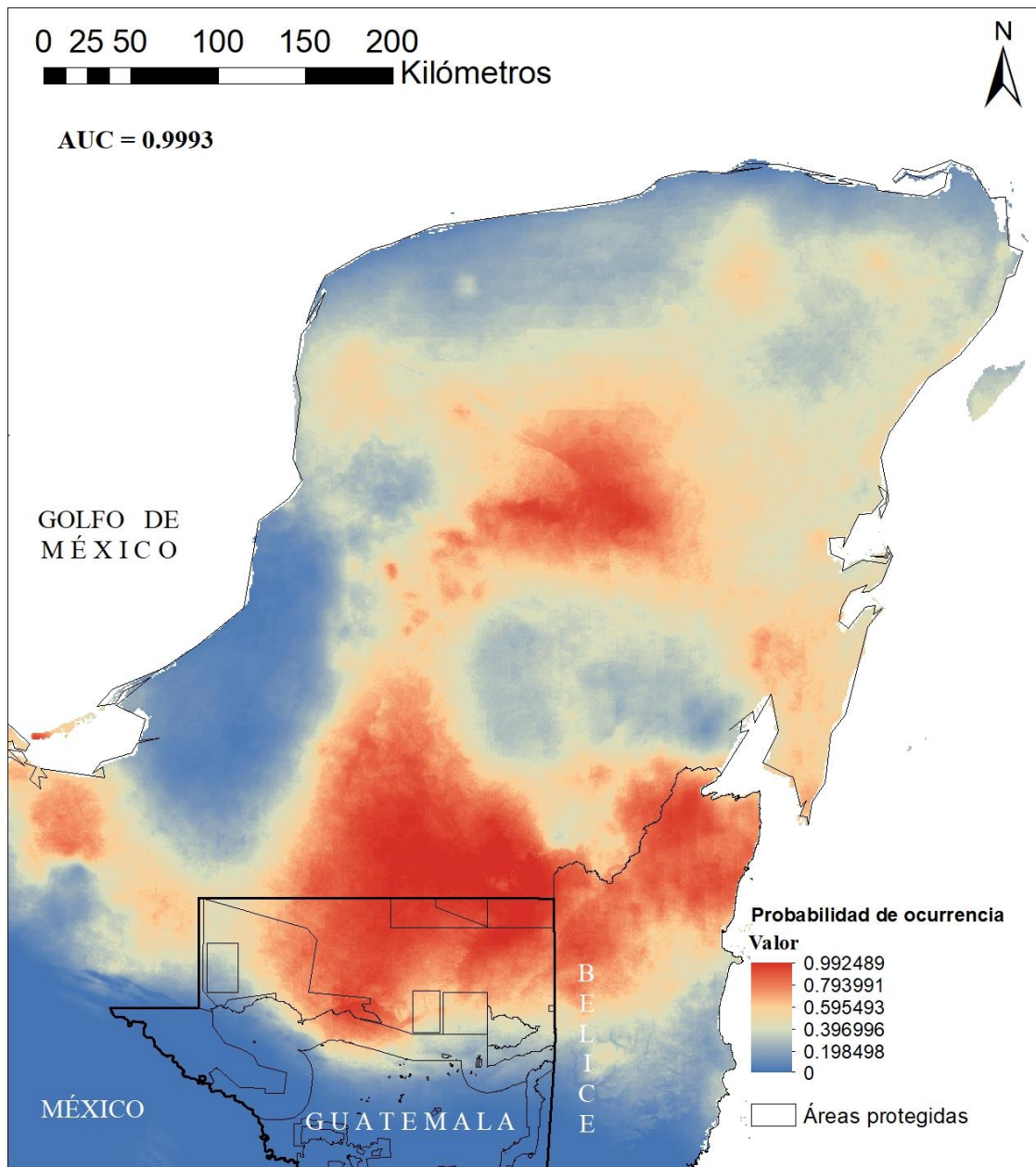


Figura 11. Mapa de probabilidad de ocurrencia de *Cachryx defensor* para escenario de cambio climático optimista (SSP2-4.5).

Las áreas protegidas para el departamento de Petén son mostradas con un contorno verde claro. La probabilidad de ocurrencia muestra una escala de colores que varían desde rojo a azul, indicando la distribución potencial de la especie. Las coloraciones rojas se encuentran en un valor más cercano a 1, mientras que las coloraciones azules son más cercanas a 0.

Utilizando el mapa de probabilidad de ocurrencia en la Figura 10, se generó un corte del área donde el valor de probabilidad de ocurrencia mayor o igual a 0.75. El polígono representa un área estimada de 2,868,736 hectáreas (ha), en las que existe una alta probabilidad de ocurrencia para *C. defensor* (Figura 11).

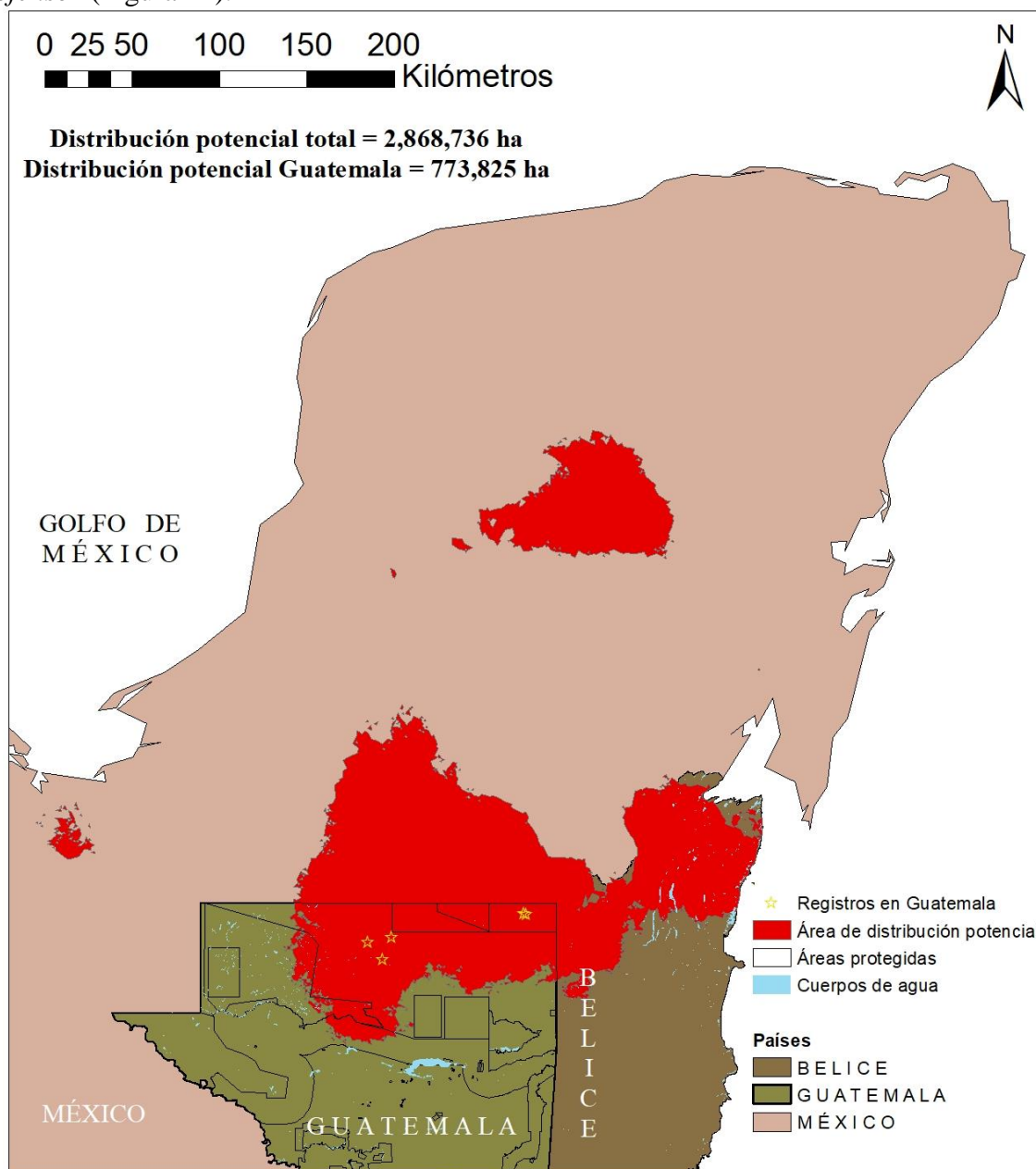


Figura 12. Mapa de probabilidad de ocurrencia mayor a 75% de *Cachryx defensor* para el escenario de cambio climático optimista (SSP2-4.5).

El área de distribución potencial para *C. defensor* es mostrada en coloración roja. Las áreas protegidas de Guatemala se muestran delineadas y los registros *C. defensor* obtenidos durante esta investigación se muestran con una estrella dorada.

Se seleccionaron las variables que presentaron una importancia de permutación mayor a 10 y porcentaje de contribución total de las variables mayor o igual a 75%. Para las proyecciones del escenario pesimista (SSP5-8.5) utilizando la especie *C. defensor* se seleccionó un total de seis variables (Cuadro 6), las cuales sumaban un porcentaje de contribución de 78.3. Las variables de precipitación del mes de junio, precipitación del mes de julio y precipitación del cuartil más húmedo debieron ser seleccionadas a pesar de tener una importancia de permutación de 0 debido a que cuentan con un porcentaje de contribución alto, haciendo que este llegara al mínimo propuesto.

Cuadro 4. Variables ambientales seleccionadas para *Cachryx defensor* en escenario de cambio climático pesimista (SSP5-8.5) y sus porcentajes de contribución e importancia de permutación

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Precipitación de julio	20.0	0
Estacionalidad de la temperatura	15.8	0
Precipitación de agosto	13.0	30.2
Precipitación de febrero	9.2	15.7
Temperatura máxima de enero	3.9	24.7
Isotermalidad	7.3	8.3
Precipitación de mayo	9.1	2.4

Utilizando únicamente las variables seleccionadas en el Cuadro 6, se generó una proyección de probabilidad de ocurrencia para la especie *C. defensor* en el escenario pesimista (SSP5- 8.5). Se obtuvo un valor de Área Bajo la Curva (AUC) de 0.9965, indicando que la proyección generada tiene una capacidad de predicción específica y sensible en un 99.65% de las ocasiones.

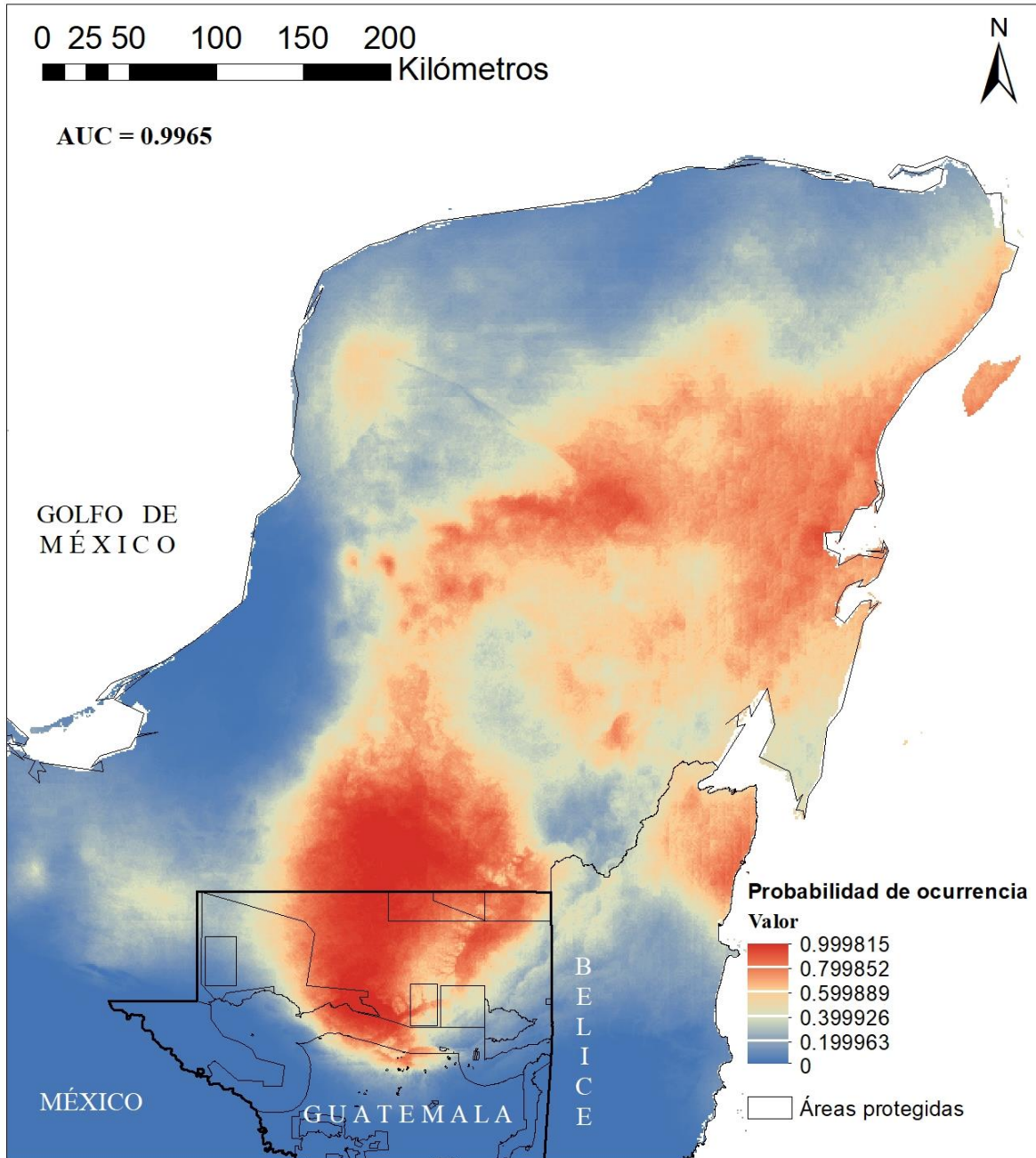


Figura 13. Mapa de probabilidad de ocurrencia de *Cachryx defensor* para el escenario de cambio climático pesimista (SSP5-8.5).

Las áreas protegidas para el departamento de Petén son mostradas con un contorno verde claro. La probabilidad de ocurrencia muestra una escala de colores que varían desde rojo a azul, indicando la distribución potencial de la especie. Las coloraciones rojas se encuentran en un valor más cercano a 1, mientras que las coloraciones azules son más cercanas a 0.

Utilizando el mapa de probabilidad de ocurrencia en la Figura 12, se generó un corte del área donde el valor de probabilidad de ocurrencia mayor o igual a 0.75. El polígono representa un área

estimada de 2,820,728 hectáreas (ha), en las que existe una alta probabilidad de ocurrencia para *C. defensor* (Figura 13).

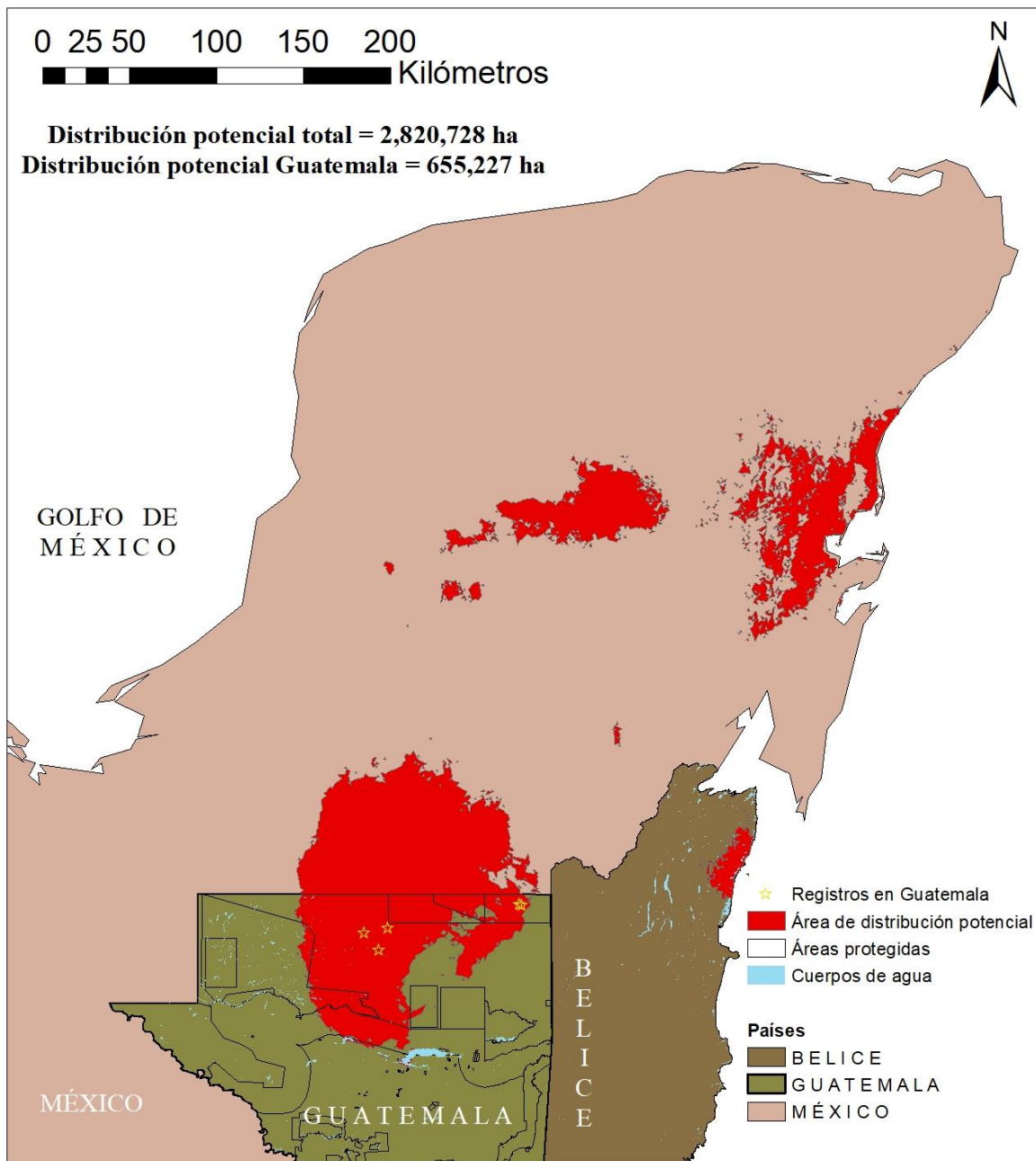


Figura 14. Mapa de probabilidad de ocurrencia mayor a 75% de *Cachryx defensor* para el escenario de cambio climático pesimista (SSP5-8.5).

El área de distribución potencial para *C. defensor* es mostrada en coloración roja. Las áreas protegidas de Guatemala se muestran delineadas y los registros *C. defensor* obtenidos durante esta investigación se muestran con una estrella dorada.

Se compilaron las extensiones obtenidas para cada uno de los escenarios evaluados (distribución potencial, escenario futuro optimista (SSP2-4.5) y escenario futuro pesimista (SSP5-8.5)). Se incluyeron estas extensiones en hectáreas tanto para el área total de distribución de la especie como su área de distribución únicamente en territorio guatemalteco.

Cuadro 5. Cambios en cantidad de extensión de probabilidad de ocurrencia mayor al 0.75 de *Cachryx defensor* bajo los escenarios evaluados en su distribución total y su distribución únicamente en Guatemala.

		Área total (ha)	Área en Guatemala (ha)
Distribución actual		2,890,041	707,114
Escenario futuro optimista (SSP2-4.5)		2,868,736	773,825
Escenario futuro pesimista (SSP5-8.5)		2,820,728	655,227

Al evaluar la diferencia entre las extensiones para el área total la distribución potencial de *C. defensor* con una probabilidad de ocurrencia mayor al 0.75, se puede observar que tanto el escenario optimista como el pesimista muestran una reducción de 21,305 y de 69,313 hectáreas respectivamente en comparación con la extensión de la distribución actual. Sin embargo, también se puede observar que se obtuvo un efecto contrario para el escenario optimista al evaluar únicamente área total la distribución potencial de la especie en Guatemala. En este caso, se observa un incremento de 66,711 hectáreas mientras que, si se evalúa el escenario pesimista, es posible ver una reducción considerable de 51,887 hectáreas en comparación con la extensión de la distribución actual.

IX. DISCUSIÓN

Durante los muestreos realizados en el Parque Nacional Mirador-Río Azul y la Concesión Forestal Carmelita en marzo y mayo del año 2,022, se lograron reportar cinco nuevos individuos de *C. defensor* para Guatemala. Dos de estos individuos fueron encontrados en el Parque Nacional Mirador-Río Azul y dos fueron encontrados en la Concesión Forestal Carmelita. Adicionalmente, se cuenta con un avistamiento videográfico hecho por guarda recursos en el campamento El Jabalí, dentro de la misma concesión forestal. De esta manera se extendió la distribución conocida para la especie por 87 kilómetros al suroeste con el registro (Cuadro 1, punto 14) más al sur hasta el momento. Este punto también representa el registro con mayor altitud (235 msnm.) para Guatemala.

Los tres modelos de distribución potencial para *C. defensor* realizados en este estudio presentan valores de AUC mayores a 0.99, indicando que estos modelos tienen una capacidad predictiva muy alta y confiable. Los resultados mostraron zonas potenciales para la presencia de esta especie en donde no se ha realizado investigación de campo todavía, por lo que son zonas prioritarias para realizar trabajo de campo. Esto reviste especial importancia para la región comprendida dentro de la concesión forestal de Uaxactún y la región cercana a los sitios arqueológicos de Tintal y Mirador dentro del Parque Nacional Mirador-Río Azul.

La iguana *C. defensor* parece presentar un área potencial de distribución amplia dentro de la RBM, sin embargo, el ámbito de hogar de la especie no se conoce por lo que es incierto el número de individuos que la cantidad de hábitat disponible puede sostener en la actualidad. Un estudio previo realizado en México estimó una densidad de 5.1 individuos por hectárea para la especie hermana *C. alfredschmidti* (Leyva, 2015). Durante los muestreos fue posible encontrar a dos individuos a una distancia menor a 20 metros entre ellos, y adicionalmente, se evidenció que la especie tiene cierto grado de fidelidad de refugio, dado que se reportó un individuo en el mismo refugio durante varias semanas seguidas (Obs. Pers.). Sin embargo, los individuos encontrados durante el muestreo fueron registrados de forma aislada, aunque también se buscara a la especie en hábitats muy similares.

Los modelos realizados presentan una distribución potencial de *C. defensor* restringida principalmente a la Reserva de la Biósfera Maya (RBM) para los múltiples escenarios evaluados. El modelo de distribución potencial actual (Figuras 8 y 9) presenta una alta probabilidad de ocurrencia en sectores fuera de la RBM como la costa sur del Lago de Petén Itzá; sin embargo, esta distribución es poco probable debido al alto grado de fragmentación y degradación del hábitat desde la Zona de Amortiguamiento hasta llegar a las orillas del lago y a la falta de reportes de la especie en estas localidades. Adicionalmente, se conoce que *C. defensor* se encuentra principalmente en los bosques tropicales secos con cuatro tipos de vegetación: bosque deciduo, bosque deciduo tropical, bosque deciduo espinoso y vegetación secundaria (Leyva, 2015).

Para el modelo de distribución actual, las variables climáticas que presentaron una mayor importancia fueron la precipitación del cuartil más húmedo, la radiación solar de julio y la elevación. Para el modelo de proyección al futuro SSP2-4.5 se presentaron las variables de precipitación del cuartil más húmedo, precipitación de agosto y la temperatura máxima de

agosto. Por otro lado, para el modelo de proyección al futuro SSP5-8.5 las variables más importantes fueron precipitación de julio, estacionalidad de la temperatura y precipitación de agosto. En base a esto se puede inferir que la especie se ve altamente influenciada por la precipitación en su área de distribución como es el caso de varias especies de helodermátidosal igual que con la iguana del desierto (*Dipsosaurus dorsalis*) que habitan en ecosistemas similares (Gómez-Cruz *et al.*, 2021; Valdivia *et al.*, 2017).

El escenario optimista (SSP2-4.5) representa un aumento de temperatura de entre 2.0 y 2.9°C para el año 2,100, así como una disminución en la precipitación de 0.2 mm al día. Para el año 2,050 se estima que la temperatura del aire habrá aumentado alrededor de 1.2°C (Nazarenko *et al.*, 2022). Debido a que el hábitat óptimo para la especie es el bosque estacionalmente seco, el aumento de la temperatura en un grado Celsius y la disminución de la precipitación moderada del escenario SSP2-4.5 es favorable para la extensión del bosque seco estacional en el área de Petén (Figuras 10 y 11). Esto se refleja en el aumento del área de distribución potencial por 66,711 hectáreas respecto al presente. Este hallazgo se alinea con la hipótesis planteada al inicio de la presente investigación, en donde se esperaba la ampliación de la distribución potencial para *C. defensor* debido a la expansión del bosque estacionalmente seco.

El escenario pesimista (SSP5-8.5) representa un aumento de temperatura entre 4.0 y 4.3°C para el año 2,100, así como una disminución en la precipitación de entre 1 y 0.5 mm al día (Nazarenko *et al.*, 2022). Este aumento en la temperatura y disminución de la precipitación hará que parte del hábitat para *C. defensor*, (Parque Nacional Mirador-Río Azul y sección sureste de RBM) se vuelva no óptimo para la especie (Figura 13), causando una disminución en el área de distribución potencial arriba de 75% para Guatemala. Esto se refleja en la disminución del área de distribución potencial por 51,887 hectáreas respecto al presente. Este hallazgo difiere con la hipótesis planteada al inicio de la presente investigación, en donde se esperaba la ampliación de la distribución potencial para *C. defensor* debido a la expansión del bosque estacionalmente seco. Es probable que, debido al aumento de temperatura, parte del bosque seco en la RBM lleguen a convertirse en zonas más áridas y con menor vegetación.

La degradación del hábitat parece no ser una amenaza fuerte para *C. defensor* dentro de Guatemala hasta la fecha. Esto se debe a que los registros confirmados se encuentran dentro de unidades de manejo (Parques Nacionales, Concesiones Forestales Comunitarias) las cuales presentan índices de deforestación e incendios forestales muy bajos (Devine *et al.*, 2020). En el caso de la Concesión Forestal de Carmelita, existe un aprovechamiento forestal sostenible en el área donde se documentaron dos individuos de la especie. Sin embargo, estos se encontraban en bosques bajos con bajo valor forestal por lo que el aprovechamiento dentro de estas áreas es mínimo y no perturba directamente al hábitat preferido por *C. defensor*. En caso de que la especie presente el patrón de distribución generado por medio de las modelaciones de nicho ecológico (Figuras 8 y 9), es posible que esta habite en unidades de manejo con niveles de degradación y perturbación altos tales como el Parque Nacional Laguna del Tigre o las Concesiones Forestales de La Colorada, Cruce a la Colorada, La Pasadita, entre otras (Figura 5.) (Radachowsky *et al.*, 2011).

Al evaluar la integridad ecológica de la selva maya podemos notar que existe un alto nivel de conectividad entre los macizos boscosos de los tres países que lo integran (México, Guatemala y Belice), lo cual indica que esta tendrá suficiente hábitat para sostener las poblaciones actuales (Hill *et al.*, 2022). Adicionalmente, los pobladores de las áreas de distribución de la especie no tienen mucho conocimiento acerca de la especie y esta no es cazada ni extraída para su comercio; mientras que en México es utilizada como alimento, en medicina tradicional y para tráfico ilegal de especies para mascotas (Leyva, 2015).

Debido a las razones mencionadas anteriormente se considera que la mayor amenaza que enfrentan las poblaciones de *C. defensor* en Guatemala bajo las condiciones actuales son los efectos del cambio climático. Es necesario que se realicen más investigaciones sobre el ámbito de hogar, nivel de vagilidad, fidelidad de refugio y tasa de reproducción de la especie para entender de mejor manera los requerimientos ecológicos y climáticos de su hábitat óptimo. Además, es importante comprender toda esta información para poder predecir con mayor exactitud los efectos que el cambio climático tendrá sobre la especie y su capacidad de desplazarse a un hábitat con condiciones ambientales idóneas. *C. defensor* podrá pasar por posibles procesos de adaptación, colonización u extinción de las poblaciones, determinados por la disponibilidad del hábitat que cumpla con sus requerimientos ambientales y ecológicos necesarios para sobrevivir (Foden *et al.*, 2007). Es probable que la especie tenga un mayor periodo de adaptación y desplazamiento en el escenario de cambio climático optimista (SSP2-4.5) en comparación con el escenario de cambio climático pesimista (SSP5-8.5).

X. CONCLUSIONES

Se amplió la distribución de *Cachryx defensor*, añadiendo cinco nuevos individuos reportados dentro de la Reserva de la Biósfera Maya y extendiendo su distribución 87 kilómetros al suroeste con el punto más al sur registrado hasta el momento.

El hábitat potencial de *C. defensor* está comprendido por alrededor de 2,890,041 hectáreas (ha), en donde la mayor parte del hábitat está protegido en la actualidad dentro de Zonas Núcleo y Zonas de Usos Múltiples de la Reserva de Biósfera Maya en Guatemala, así como dentro de la Reserva de Biósfera Calakmul en México.

Bajo el escenario de cambio climático optimista (SSP2-4.5) *C. defensor* tendrá una disminución de su distribución potencial de 21,305 hectáreas, probablemente causado por el aumento de temperatura y disminución de precipitación anual en el bosque estacionalmente seco.

Bajo el escenario de cambio climático pesimista (SSP5-8.5), se estima una disminución de 69,313 hectáreas de distribución potencial para *C. defensor*. Esta disminución podría ser causada por la disminución de cobertura vegetal y aumento de la aridez.

XI. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar nuevos sitios de muestreo dentro de las distintas unidades de manejo de la Reserva de la Biósfera Maya (RBM) para confirmar la presencia o ausencia de la especie dentro de las mismas. Esto permitirá que la distribución de *C. defensor* sea más explorada y se pueda tener un mejor entendimiento de los requerimientos ambientales de la especie. Adicionalmente, se recomienda estudiar el ámbito de hogar de *C. defensor* con el fin de registrar si existe una ampliación en sus movimientos durante alguna época específica. Estudios con otras especies que habitan el bosque estacionalmente seco (*C. palearis*) han registrado un movimiento mayor de los individuos durante la época seca (Gil, 2016; Mazariegos *et al.*, 2020). Además, se tienen registros de uso de refugios prolongados para *C. defensor*, por lo que al estudiar el ámbito de hogar se podrá confirmar la fidelidad del refugio en la especie. Por último, se recomienda realizar estudios de la importancia ecológica de la especie, incluyendo creación de información sobre la alimentación, reproducción y dependencia de ciertas especies forestales.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONAP. 2009. *Plan Maestro 2009-2013 Parque Nacional Mirador-Río Azul y Biotopo Protegido Naachtun-Dos Lagunas*. Guatemala. 164 pp.
2. CONAP. 2015. *Plan Maestro de la Reserva de la Biósfera Maya*. Segunda actualización. Tomo 1. Guatemala. 316pp
3. Devine, J., Currit, N., Reygadas, Y., Liller, L. y Allen, G. 2020. *Drug trafficking, cattle ranching and Land use and Land cover change in Guatemala's Maya Biosphere Reserve*. Land Use Policy. 95. 104578. 10.1016/j.landusepol.2020.104578.
4. Dinerstein, E., D.M. Olson, D.J. Graham, A.L. Webster, S.A. Primm, M.P. Bookbinder, & G. Ledec. 1995. *A conservation assessment of the terrestrial ecosystems of Latin America and the Caribbean*. Banco Mundial & WWF, Washington, D.C.
5. Dodd, C. (ed). 2016. *Amphibian ecology and conservation. A handbook of techniques*. Oxford University Press, Oxford.
6. Foden, M. Midgley, G.F., Hughes, G., Bond, W.J., Thuiller, W., Hoffman, M.T., Kaleme, P. Underhill, L.G., Rebelo, A. y Hannah, L. 2007. *A changing climate is eroding the geographical range of the Namib Desert tree Aloe through population declines and dispersal lags*. Diversity and Distributions, 13 (5): 645-653.
7. Garcia, R. & J. J. Radachowsky, eds. 2004. *Rapid Ecological Evaluation of Mirador-Río Azul National Park (Maya Biosphere Reserve, Guatemala)*. Wildlife Conservation Society-Petén;117pp
8. Gil, L. 2016. *Ámbitos de hogar de la Iguana de órgano Ctenosaura palearis (Sauria: Iguanidae) en el bosque tropical estacionalmente seco de Cabañas, Zacapa, Guatemala*. Tesis de Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 96pp.
9. Gómez-Cruz A., Santos-Hernández N., Cruz J., Ariano-Sánchez D., Ruiz-Castillejos C., Espinoza-Medinilla E. y De Fuentes-Vicente J. 2021. *Effect of climate change on the potential distribution of Heloderma alvarezii (Squamata, Helodermatidae)*. ZooKeys 1070: 1-12. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1070.69186>
10. González, A. 2018. *ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN DE LA IGUANA (CYCLURA NUBILA NUBILA) EN CUBA*. Tesis doctoral Programa Conservación y Restauración de Ecosistemas
11. Iguana Specialist Group, Buckley, L., de Queiroz, K., Grant, T., Hollingsworth, B., Iverson, J., Pasachnik, S. y Malone, C. 2016. *A checklist of iguanas of the world (Iguanidae; Iguaninae)*
12. Jørgensen, L.B., Ørsted, M., Malte, H. et al. *Extreme escalation of heat failure rates in ectotherms with global warming*. Nature (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05334-4>
13. Köhler, G. 1995. *Eine neue Art der Gattung Ctenosaura (Sauria: Iguanidae) aus dem südlichen Campeche, México*. Salamandra 31 (1): 1-14
14. Köhler, G. 2004. *Ctenosaura defensor*. The IUCN Red List of Threatened Species 2004:e.T44182A10857610.<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T44182A10857610.en>. Accessed on 23 January 2022.
15. Köhler, G., 1996. *Freilanduntersuchungen zur morphologie, verbreitung und lebensweise des Yucatán-schwarzleguans (Ctenosaura defensor)*. Salamandra 32, 153–162.
16. Köhler, G. 2008. *Reptiles of Central America*. Herpeton, Frankfurt.
17. Hijmans, R. et al. 2005. *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land*

areas. *Int. J. Climatol.* 25(15): 1965-1978

18. Hill, S., Fajardo, J., Maney, C., Harfoot, M., Harrison, M., Guaras, D., Jones, M., Oliva, M., Danks, F., Hughes, J. y Burgess, N. 2022. *The Ecosystem Integrity Index: a novel measure of terrestrial ecosystem integrity with global coverage*. bioRxiv. Preprint. doi: <https://doi.org/10.1101/2022.08.21.504707>
19. Malone, C., Reynoso, V. y Buckley, L. 2017. *Never judge an iguana by its spines: Systematics of the Yucatan spiny tailed iguana, *Ctenosaura defensor* (Cope, 1866)*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 115. 10.1016/j.ympev.2017.07.010
20. Leyva, E. 2015. *Distribución y selección de refugio de la iguana chop *Ctenosaura defensor* (Cope, 1866) en la Península de Yucatán, México* [Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural]. Colegio de la Frontera Sur
21. Mazariegos, E. 2020. *Efectos de la fragmentación, estacionalidad y tamaño corporal sobre los ámbitos de hogar y patrones de movimiento de la iguana de órgano (*Ctenosaura palearis*: Iguanidae) en un bosque estacionalmente seco en Cabañas, Zacapa, Guatemala*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad del Valle de Guatemala
22. Monter Pozos, A., Hernández-Hernández, J., Nahuat-Cervera, P. y Avilés, R. 2022. *La iguana Chopito (*Cachryx defensor*), endémica de la provincia biótica de la península de Yucatán*. 15. 77-84.
23. Morales-Mávil, J., Bello-Sánchez, E., y Corona López, C. 2016. *Distribution and natural history of the Campeche Spiny-tailed Iguanas (*Ctenosaura alfredschmidti*)*. Pp. 168–176 In *Iguanas: Biology, Systematics, and Conservation*.
24. Nazarenko, L. S., Tausnev, N., Russell, G. L., Rind, D., Miller, R. L., Schmidt, G. A., et al. 2022. *Future climate change under SSP emission scenarios with GISS2.1*. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14, e2021MS002871. <https://doi.org/10.1029/2021MS002871>
25. Pérez-Buitrago, N., Sabat, A. y McMillan, O. 2016. *Nesting migrations and reproductive biology of the Mona Rhinoceros Iguana, *Cyclura stejnegeri**. Pp. 197– 213 In *Iguanas: Biology, Systematics, and Conservation*.
26. Phillips, S., Dudík, M. y Schapire, R. [Internet]. 2022. *Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1)*. Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2022-1-25.
27. Phillips S., Dudík M. y Schapire R. 2004. *A maximum entropy approach to species distribution modeling*. *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*; New York: ACM Press. p. 655–662.
28. QGIS.org. 2022. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. Accessed 05 March 2022 from: <http://www.qgis.org>.
29. Radachowsky, J., García-Anleu, R. y Köhler, G. 1995. *First record of *Ctenosaura alfredschmidti* KÖHLER, 1995 in Guatemala*. *Salamandra*. 39. 30-9.
30. Radachowsky, Jeremy & Ramos, Victor & McNab, Roan & Baur, Erick & Kazakov, Nikolay. (2011). *Forest concessions in the Maya Biosphere Reserve, Guatemala: A decade later*. *Fuel and Energy Abstracts*. 268. 10.1016/j.foreco.2011.08.043.
31. Urbina-Cardona, N., Bernal, E., Giraldo-Echeverry, N. y Echeverry-Alcendra, A. 2015. *El monitoreo de herpetofauna en los procesos de restauración ecológica: indicadores y*

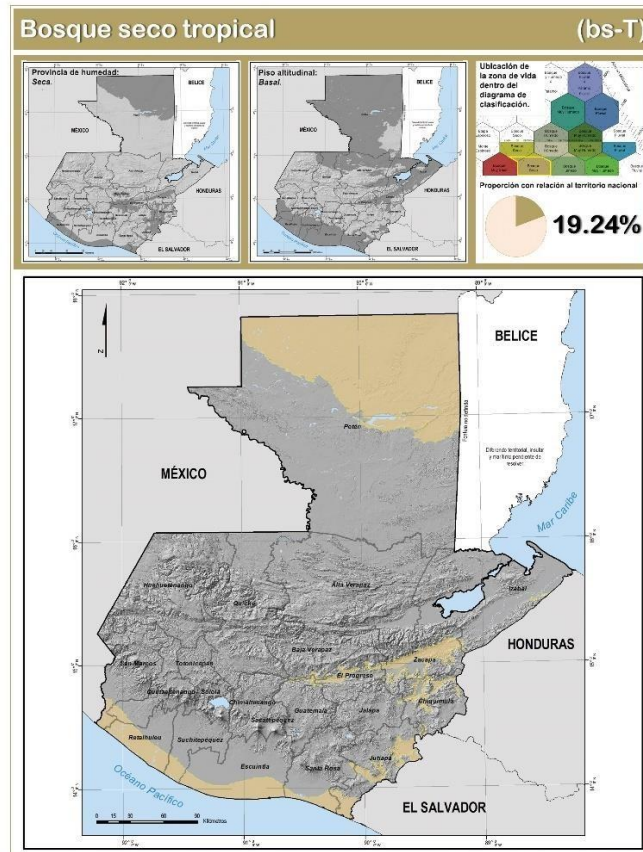
- métodos*. Instituto de Investigación de cursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)
32. Valdivia-Carrillo, T., García De León, F., Blazquez, M.C., Gutiérrez-Flores, C. y Zamorano, P. 2017. *Phylogeography and Ecological Niche Modeling of the Desert Iguana (Dipsosaurus dorsalis, Baird & Girard 1852) in the Baja California Peninsula. Journal of Heredity*. 2017. 640-649. 10.1093/jhered/esx064.C
 33. Vinegar, M. 1975. *Life history phenomena in two populations of the lizard Sceloporus undulatus in southwestern New Mexico. American Midland Naturalist*,93

XIII. ANEXOS

Anexo 1. Registros de *C. defensor* en Guatemala con la altitud a la que se encontraron los individuos

No.	Localidad	Estado	País	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (msnm.)
1	Río Azul	Petén	Guatemala	17.76461	-89.3176	90
2	Río Azul	Petén	Guatemala	17.76001	-89.3071	91
3	Puente Viejo	Petén	Guatemala	17.61639	-90.1238	212
4	Puente Viejo	Petén	Guatemala	17.52761	-90.04597	235
5	El Jabalí*	Petén	Guatemala	17.64165	-90.0002	231

Anexo 2. Mapa de ecosistema Bosque Seco Tropical presente en Guatemala





Anexo 3. Ficha de identificación de 4 especies de lagartijas presentes en Petén (*Ctenosaura similis* (1), *Sceloporus teapensis* (2), *Iguana rhinolopha* (3) y *Cachryx defensor* (4)) utilizada para las entrevistas a locales.